Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Emanuel Bruno Marques Carneiro

Procedimentos para Fabrico de Componentes por CNC: Organização, Processos e Controlo

Dezembro de 2012

Emanuel Bruno Marques Carneiro
Procedimentos para Fabrico de Componentes
por CNC: Organização, Processos e Controlo

UMinho | 2012

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Emanuel Bruno Marques Carneiro

Procedimentos para Fabrico de Componentes por CNC: Organização, Processos e Controlo

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor António Alberto Caetano Monteiro

Dezembro de 2012

DECLARAÇÃO

Nome: Emanuel Bruno Marques Carneiro

Correio electrónico: A52746@alunos.uminho.pt

Tlm.: 969206520

Número do Bilhete de Identidade:13349777

Título da dissertação:

Procedimentos para o Fabrico de Componentes por CNC: Organização, Processos e Controlo

Ano de conclusão: 2012

Orientador: Professor António Alberto Caetano Monteiro

Designação do Mestrado: Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Área de Especialização: Tecnologias de Manufactura

Escola: Escola de Engenharia da Universidade do Minho

Departamento: Departamento de Engenharia Mecânica

Guimarães, 12/12/2012

Assinatura: _____

Resumo

Presentemente a conjuntura económica mundial leva a que a competitividade seja crucial na realidade de todas as empresas. Sendo assim é fundamental a procura de uma melhoria contínua e redução dos custos. A S. Roque - Máquinas e Tecnologia Laser S.A é uma empresa que apresenta uma política de competitividade face à sua concorrência, pelo que o controlo dos custos fixos de produção é essencial para dar seguimento a seus objectivos e estratégias de expansão.

De forma a conseguir este objectivo, é necessário intervir nos processos de maquinagem pois estes assumem uma parcela importante dos custos de produção. O presente trabalho, pretende abordar os procedimentos para fabrico de componentes por CNC com uma abordagem que será feita numa perspectiva de implementar mudanças na sua organização e nos processos de produção.

No capítulo I realizar se a uma pequena introdução ao tema, onde são expressadas algumas ideias, assim como os objectivos propostos para a realização deste trabalho.

No capítulo II realiza-se uma pequena descrição da situação actual sobre a gestão das ferramentas de corte no mundo.

No capítulo III descreve-se o funcionamento do ciclo CAD/CAM/CNC, assim como o funcionamento dos diferentes tipos de *softwares* CAD e CAM.

No capítulo IV é realizada uma pequena descrição da empresa e dos meios que esta dispõe.

No capítulo V realiza-se uma análise ao processo de fabrico da empresa, onde são detectados os problemas existem e apresentadas/propostas algumas soluções para os resolver.

No capítulo VI serão sintetizadas as conclusões finais do trabalho e os aspectos importantes a salientar, assim como sugestões para trabalhos futuros.

Abstract

Presently the world economic environment leads competitiveness to take crucial importance in the reality of every enterprise. Thus, it is fundamental the search for continuous improvement and for cost reduction. The S. Roque – Máquinas e Tecnologia Laser S.A is a company that presents competitiveness policy to faces their direct competition. Therefore, control of fixed production costs is essential to pursuit their goals and expansion strategies.

To reach this goal it is clear that the machining processes assuming an important proportion of all production costs. The present work is intended to address the procedures for parts manufacturing by CNC equipment, based on an approach which is done on a perspective of implementing organizational and production processes changes

In chapter I it is performed a little introduction to the theme, where some ideas are expressed, as well the proposed goals for the realization of this work.

In chapter II a little description of the actual world situation is carried and about the management of cutting tools.

In the chapter III it is described the functioning of CAD/CAM/CNC cycle, as well the functioning of the different types of CAD and CAM software.

In the chapter IV a little description of the studied company and of the means that are at their dispose are performed.

In the chapter V is realized an analysis to the company manufacturing processes, where are detected the existing problems and presented and proposed some solutions to solve them.

In the chapter VI are synthetized the final conclusions of the work and the most important aspects, as well suggestions for future work.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos aqueles que de alguma forma me apoiaram e tornaram possível a realização desta dissertação com especial destaque:

À minha família que sempre esteve comigo.

Ao meu orientador Doutor Professor Caetano Monteiro pelos conselhos, disponibilidade e observações pertinentes.

Ao Sr. Eng.º Miguel Guimarães, pela disponibilidade que demonstrou ao longo do estágio, para esclarecer todas as dúvidas que foram surgindo.

Ao Sr. Carlos Monteiro e Sr. Luís Pereira responsáveis pelo sector de maquinagem, por todo o apoio prestado

E por último agradeço a empresa S. Roque - Máquinas e Tecnologia Laser S.A por ter possibilitado este projecto.

A todos o meu muito obrigado.

Índice

Índice de Figuras

Índice de Tabelas

Glossário de termos e acrónimos

AFR – Automatic Feature Recognition (Reconhecimento Automático de Operações)

ASCII – American Standard Code for Information Interchange (Código Padrão Americano para o Intercâmbio de Informação).

CAD – Computer Aided Design (Desenho Assistido por Computador).

CAM – Computer Aided Manufacturing (Manufatura Assostida por computador).

CLDATA – Cutter Location Date File

CNC – Computer Numeric Control (Controle Numérico Computadorizado).

FMS – Flexible Manufacturing Systems (Sistema de manufatura flexível).

IFR – Inretactivel Feature Recognition (Reconhecimento Interativo de Operações)

IGES – Initial Graphics Exchange Specification.

ISO - International Organization for Standardization (Organização Internacional de Normalização).

NC – Numeric Control (Controlo numérico).

PDM – Product Data Management

STEP – Standard for the Exchange of Product model data (Padrão para o Intercâmbio de Dados de Produtos).

VDAFS – Verban des Automobilindustrie Flalchen-Schnittslelle

D - Diâmetro da fresa (mm)

fz – Avanço por navalha (mm)

n - Velocidade de rotação (rpm)

n – Velocidade de rotação de fresa (rpm)

Vc - Velocidade de corte (m/min)

vf – Velocidade de avanço de mesa (mm/min)

z – Número de navalhas

1 Introdução

Tecnologia, saber ou conhecimento são expressões frequentemente usadas quando nos interrogamos sobre o futuro do sector metalúrgico. No passado, alguns defendiam que o desenvolvimento deste sector passava pela aquisição tecnológica como o factor chave para o sucesso e desenvolvimento, em detrimento de aspectos de âmbito organizacional e do saber.

Mas rapidamente se verificou que tal não era verdade pois o insucesso na implementação de novas tecnologias, onde a organização e o saber não estavam devidamente implementados vieram demonstrar e evidenciar que esse pensamento estava incorrecto. Hoje é quase unânime que sem uma aposta forte na gestão e no conhecimento, não é possível uma utilização eficaz das tecnologias, que estão actualmente disponíveis, nem uma expansão e inovação tecnológica sustentável.

Assim sendo, actualmente no contexto em que vivemos, onde a globalização e a competitiva é uma realidade que atinge todos os sectores de actividade a única solução para uma empresa ser sustentável, competitiva e lucrativa é estar aberta à mudança organizacional, à mudança de conhecimento e à mudança tecnológica.

É aqui que se enquadra esta dissertação que tem como principal objectivo estabelecer procedimentos para fabrico de componentes por CNC através da organização e controlo dos processos, o que vai ao encontro da política da empresa (S. Roque - Máquinas e Tecnologia Laser S.A) onde foi realizada esta dissertação.

1.1 Objectivos gerais

Os objectivos gerais desta dissertação podem ser divididos em dois tipos distintos:

Um deles será a implementação de um sistema CAD/CAM; este era o objectivo que foi especificado por parte da empresa, para que esta dissertação fosse enquadrada em ambiente industrial.

O outro era estabelecer procedimentos para fabrico de componentes por CNC, onde fosse analisada e discutida a organização da empresa e controlados os processos. Este objectivo foi estabelecido pela universidade.

1.2 Objectivos específicos

Este trabalho tem por objectivos específicos:

a) Realizar o levantamento bibliográfico sobre os temas relevantes ao estudo;
b) Familiarizar com as tecnologias produção existentes;
c) Analisar o processo de produção;
d) Encontrar e solucionar problemas no processo;
e) Estabelecer procedimentos para a produção;
f) Preparar as condições para a implementação de um sistema CAD/CAM;
g) Implementar um sistema de CAD/CAM.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho divide-se em 6 capítulos, sucintamente descritos a seguir, para além das referências e dos anexos:

- Capítulo I – Introdução: Faz uma pequena introdução ao tema, onde são expressadas algumas ideias, assim como os objectivos propostos para a realização deste trabalho.
- Capítulo II - Gestão de ferramentas: Realiza-se uma pequena descrição da situação actual sobre a gestão das ferramentas de corte no mundo.
- Capítulo III - Descrição do ciclo CAD/CAM/CNC no processo de fabrico: Descreve-se o funcionamento do ciclo CAD/CAM/CNC, assim como o funcionamento dos diferentes tipos de *softwares* CAD e CAM.
- Capítulo IV - Caracterização do processo produtivo da empresa: É feita uma pequena descrição da empresa e dos meios que esta dispõe.
- Capítulo V - Caracterização da situação actual (Modus Operandi): Realiza-se uma análise ao processo de fabrico da empresa, onde são detectados os problemas existem e apresentadas/propostas algumas soluções para os resolver.

- Capítulo VI - Conclusão e sugestões de trabalho: Descrevem as conclusões finais do trabalho e os aspectos importantes a salientar, assim como sugestões para trabalhos futuros.
- Referência - Contém todas as referências bibliográficas desta dissertação.
- Anexos – Abarca todo o material que pode ajudar a compreensão deste trabalho.

2 Gestão de ferramentas

A gestão das ferramentas é hoje em dia considerado um importante factor diferenciador de competitividade. Tem como objectivo aumentar a produtividade, reduzir os desperdícios e melhorar a qualidade dos produtos, através da diminuição das interrupções no fluxo normal da produção, que acontecem, por exemplo quando há um desgaste precoce das ferramentas, quebras repentinas, indisponibilidade das ferramentas ou baixa qualidade nas peças, entre outras perturbações.

Alguns autores defendem que a gestão de ferramentas é uma filosofia com uma abordagem sistemática, que gera informações para a tomada de decisões, que permite fornecer as ferramentas na quantidade, no local e no momento certo [1].

Outros consideram que a gestão de ferramentas é uma abordagem organizativa, que tem como objectivo garantir que as ferramentas estão disponíveis para alcançar os objectivos da produção de forma a ser possível aumentar a produtividade e eficiência [2].

Existem alguns ainda que defendem que a gestão de ferramentas é uma estratégia que tem como objectivo a resolução de problemas relacionados com as várias actividades que envolvem o uso de ferramentas, nomeadamente a compra, o armazenamento, a inspecção, a criação e manutenção de uma base de dados de ferramentas, a entrega na produção e o controlo do *stock* [3].

Os benefícios e as vantagens que advêm de um gestão adequada de ferramentas são vastos e válidos para qualquer tipo de indústria. Em particular para as metalo-mecânicas que utilizam processos de maquinagem, são uma mais-valia significativa, pois estas gerem diariamente informações com dados técnicos das ferramentas, tipo de peças a ser produzidas, processos de produção, custos envolvidos com ferramentas e logística das ferramentas de corte, informações essas que levam à tomada de acções estratégicas por parte da administração, que visam melhorar o processo produtivo.

Estas decisões só podem ser tomadas correctamente se todas estas as informações estiverem corretas e disponíveis, o que só acontece se existir uma boa gestão de ferramentas.

2.1 Objectivos da gestão das ferramentas

Como foi referido, a gestão das ferramentas tem como principais objectivos aumentar a produtividade, reduzir desperdícios e melhorar a qualidade dos produtos, através da diminuição das interrupções no fluxo normal da produção, que podem ser causadas por problemas provenientes das ferramentas de corte, que não permitem obter uma produção contínua [2].

Booger (apud Favoretto [2]) definiu, como principais objectivos para a gestão das ferramentas de corte:

- Minimizar as perturbações no processo de produção;
- Maximizar a utilização de máquinas e ferramentas;
- Minimizar o número de peças defeituosas;
- Reduzir os custos com ferramentas, através da padronização e racionalização.

Baseando-se nestes objectivos gerais é possível resumir os objectivos específicos da gestão das ferramentas como os que são apresentados a seguir [4]:

- Redução dos *stocks* de ferramentas ao mínimo; esta redução permite diminuir o custo de produção pois elimina as perdas que grandes *stocks* acarretam.
- Padronização das ferramentas; permite uma redução do número de ferramentas, o que diminui os gastos e permite uma redução do seu inventário.
- Eliminação da falta de ferramentas; este tipo de perturbação é dos mais graves que podem acontecer no processo produtivo e a possibilidade da sua ocorrência pode ser drasticamente diminuída com a utilização de uma gestão de ferramentas eficiente.
- Aumento da produtividade; este aumento pode ser conseguindo, com uma selecção de ferramentas adequada e pela optimização dos parâmetros de corte
- Controlo da localização e fluxo da ferramenta; considera um pré-requisito para um controlo eficiente da localização e fluxo das ferramentas uma base de dados manual ou computadorizada que contenha dados como códigos das ferramentas ou localização, entre outros [2].
- Redução dos tempos de preparação; esta redução pode acontecer se for feita uma selecção de ferramentas que garanta um maior tempo de corte ou que apresente melhores parâmetros de corte.

- Garantia da disponibilidade e a actualização da informação; é muito importe pois é através destas informações que a gestão das ferramentas é feita e são tomadas decisões.
- Fortalecimento do relacionamento com os fornecedores; é fundamental pois são eles que conhecem as ferramentas e podem ser uma mais-valia no processo de selecção; além disso, é fundamental quando se pretende manter um *stock* pequeno de ferramentas.
- Garantia da qualidade das ferramentas após a reafiação; é fundamental, pois se estas não apresentarem o mesmo desempenho, podem criar desperdícios.
- Garantia da qualidade dos produtos produzidos.
- Garantia da actualização tecnológica; esta actualização pode ser vista como uma constante procura de novas tecnologias que permitam aumentar a produtividade ou diminuir os custos.

O planeamento para a implementação destes objectivos pode ser dividido em três áreas distintas: o planeamento técnico, logístico e estratégico, temas a abordar na secção 2.2.

2.2 Parâmetros de abordagem da gestão de ferramentas

Existem na literatura e postas em prática, distintas abordagens no que toca à gestão de ferramentas de corte. Na grande maioria dessas abordagens dá-se ênfase a aspectos particulares da gestão, como por exemplo [2]:

- A gestão das informações.
- A alocação das ferramentas.
- A reposição das ferramentas.
- O controlo do fluxo das ferramentas.

A bibliografia que se encontra disponível sobre esta temática encontra-se virada sobretudo para a gestão de ferramentas em sistemas flexíveis de manufactura (FMS[1] – Flexible Manufaturing Systems) e equipamentos com comandos computorizados, pois estes são capazes de lidar com pequenos lotes e mudanças rápidas no tipo de produto a produzir.

[1] FMS – Um sistemas flexíveis de manufactura, pode ser definido como um grupo de estações de trabalho (máquinas CNC) interligadas por sistemas automáticos de armazenamento e manuseamento, que são controlados por um sistema computacional.

Estes factores associados a uma gradual implementação de filosofias de gestão, tais como a *"Lean manufacturing*[2]*"*, vieram demonstrar a grande importância que tem a gestão de ferramentas nesta conjuntura.

Existem outras abordagens que consideram por exemplo a utilização de *softwares* que fazem a gestão ou a subcontratação de empresas aptas a realizar a gestão e todas as actividades.

Favarretto [2], por exemplo, afirma que a gestão de ferramentas deve ser tratada como uma estratégia interdepartamental, em que deve estar envolvida a gerência, pois os objectivos da gestão das ferramentas só serão completamente alcançados através de um total entendimento, colaboração, partilha de objectivos e informações entre os diversos departamentos da empresa, que estão envolvidos nesta gestão. A Figura 1 ilustra quais os departamentos que estão normalmente envolvidos na gestão de ferramentas.

- Engenharia de processos
- Engenharia de produto
- Compras
- Ferramentaria
- Operaões
- Logística
- Engenharia de fábrica

Figura 1: Departamentos envolvidos na gestão de ferramentas (adaptado de [4])

De forma a ser possível alcançar os objectivos propostos pela gestão de ferramentas, é necessário considerar concomitantemente as falhas existentes em três parâmetros base, sendo estes:

- Planeamento técnico.
- Planeamento logístico.
- Planeamento estratégico.

[2] *Lean manufacturing* - Lean manufacturing pode ser definida como uma filosofia de gestão que procura reduzir o custo e o tempo entre o pedido do cliente e a entrega, através da eliminação da superprodução, tempo de espera, transporte, excesso de processamento, inventário, movimento e defeitos.

De forma resumida, estes três parâmetros de base podem ser descritos da seguinte forma: o planeamento técnico é responsável pela selecção e uso das ferramentas; o planeamento logístico tem como função controlar o fluxo de informações (capacidade, desempenho e sequenciamento) e o fluxo físico das ferramentas (armazenamento, manutenção, disponibilização, preparação e transporte até à máquina); por último, o planeamento estratégico envolve a padronização, a diminuição do tipo e a compras das ferramentas, além da redução dos *stocks* [3].

2.2.1 Planeamento técnico

O planeamento técnico ocupa-se da escolha e da forma como são utilizadas as ferramentas, sendo que os planos elaborados pelo departamento técnico devem sempre ter em consideração o estado real da tecnologia de produção e as especificações efectivas dos equipamentos presentes na oficina de produção ("chão-de-fabrica[3]"). Distúrbios na oficina, decorrentes de informações técnicas de maquinagem erradas ou incompletas, são reduzidas pela escolha apropriada da ferramenta e a pela criação correta do programa NC. A optimização dos parâmetros de maquinagem deve ser realizada apenas quando o desempenho da ferramenta é conhecido à partida. A função da gestão de ferramentas deve determinar quais os melhores parâmetros de corte para a maquinagem, de forma que o desgaste a ferramenta não seja excessivo e a produção não seja afectada [3].

A ocorrência de quebra aleatória das ferramentas de corte e o aumento constante do desgaste devem ser considerados durante a escolha dos parâmetros de maquinagem (velocidade de avanço, penetração, rotação ou outras). A falha de uma ferramenta pode levar a que a produção seja interrompida, ou que a qualidade do produto não seja a especificada, levando ao aparecimento de não conformidades. É de considerar ainda que a falha de uma ferramenta diminui o índice de utilização da máquina, o que significa que o planeamento deve considerar os limites físicos de utilização das ferramentas e restringir as condições de corte, de tal forma a que possibilidade de ruptura da ferramenta ou o desgaste excessivo sejam diminutos [4].

Booger (apud Sarmento [4]) afirma ainda que o planeamento técnico tem como função seleccionar e manipular as ferramentas da melhor forma, com o objectivo de maquinar os produtos de forma económica e obedecendo às especificações. Além disso o departamento de

[3] Termo utilizado no Brasil para definir oficina de produção.

planeamento técnico deve preparar as informações que antecedem a maquinagem com informações geométricas e tecnológicas corretas com o objectivo de:

- Evitar tempos "mortos" de máquina devido à necessidade de testes extensos;
- Obter um processo de corte sem distúrbios como quebras ou qualidade de superfície inadequada;
- Realizar uma maquinagem optimizada que respeite o tempo e os custos.

Já Faveretto [2] identifica como funções do planeamento técnico as seguintes actividades:

- Criação e manutenção de bases de dados das ferramentas;
- Utilização de sistemas de identificação de ferramentas;
- Selecção de ferramentas e parâmetros de corte;
- Controlo e minimização de perturbações no processo devido a problemas com ferramentas;
- Controlo, prevenção e redução de avarias nas ferramentas;
- Redução do custo/peça;
- Redução de tempos de processo;
- Procedimento sistemático para teste e substituição de ferramentas;
- Conhecimento da capacidade do processo;
- Controlo de vida de ferramentas;
- Determinação da quantidade e tipo de componentes em *stock*;
- Utilização de troca rápida de ferramentas;
- Manutenção de documentos actualizados;
- Desenvolvimento de novos produtos;
- Qualificação de mão-de-obra;
- Utilização de trabalho padronizado;
- Realização de manutenção de ferramentas;
- Utilização de afiação e preparação de ferramentas (*preset)*;
- Inspecção do material recebido.

2.2.2 Planeamento logístico

As funções que o planeamento logístico tem de desempenhar são a gestão do fluxo de informação e das ferramentas. O planeamento logístico é responsável pela correta distribuição dos meios necessários para a produção na quantidade e no momento certo, garantindo assim que a reposição de ferramentas em fim de vida é feita de forma eficiente, ou que as ferramentas que necessitam de manutenção sejam trocadas de forma quase imediata, para que o processo produtivo não seja afectado.

Crapart (apud Wagner [1]) diz que "o planeamento logístico está relacionado com a disponibilidade dos recursos das ferramentas, no lugar, na quantidade e no momento certo", impedindo assim que ocorram perturbações na produção (oficina) devido a ferramentas perdidas, e possibilita ainda a qualquer momento:

- Saber a sua localização;
- Saber o lote em que cada ferramenta está a trabalhar;
- Saber que operação cada ferramenta está a realizar;
- Saber quando é que cada ferramenta está disponível.

São ainda funções importantes do planeamento logístico a gestão de ferramentas, a preparação e armazenamento de componentes e montagens de ferramentas, assim como a movimentação destas para junto das máquinas, de forma que os tempos mortos de maquinagem sejam reduzidos [5].

Assim como para o planeamento técnico, Favarretto [2] também descreveu algumas actividades que devem ser da responsabilidade do planeamento logístico:

- Determinar o *stock* das ferramentas de corte;
- Determinar o *stock* dos porta-ferramentas, ferros de corte e de todos os componentes auxiliares como pinças ou parafusos;
- Definir estratégias de reposição e recolha das ferramentas junto dos equipamentos de produção;
- Definir a quantidade de ferramentas a utilizar na produção;
- Determinar qual o melhor fluxo das ferramentas dentro do sector das ferramentas;
- Delinear estratégias para o envio de ferramentas a serviços externos.

2.2.3 Planeamento estratégico

O planeamento estratégico trata da padronização, diminuição de variantes e das compras das ferramentas, além da redução dos *stocks* [4].

A padronização e diminuição das variantes de ferramentas é muito importantes, pois permitem a optimização dos processos de fabrico, a redução do número de ferramentas para realizar as mesmas operações, assim como a diminuição do *stock* e das variáveis a controlar, o que permite reduzir os meios físicos de armazenamento e manter um maior controlo sobre as ferramentas.

As actividades que se encontram sob a alçada do planeamento estratégico são [2]:

- Definir quais são os indicadores de desempenho e as metas que as ferramentas devem atingir, são, entre outras:
    - Custo ferramenta/peça;
    - Desgaste versus produtividade;
    - Frequência de avarias.
- Gerir o bom relacionamento com os fornecedores;
- Padronizar as ferramentas:

2.3 Recursos para a gestão de ferramentas

Actualmente existem no mercado múltiplas soluções, que permitem a obtenção de bons resultados na gestão de ferramentas. Estas soluções vão da simples melhoria na identificação e organização das ferramentas, até ao uso de um sistema especializado de gestão de ferramentas.

Contudo, é de salientar que a mera utilização de uma dessas soluções não é sinónimo da obtenção de bons resultados, podendo significar uma pequena melhoria, mas é necessário intercalar estas soluções com outras políticas de qualidade, para se conseguirem resultados efectivos.

2.3.1 Organização física das ferramentas

Uma das etapas fundamentais para a implementação da gestão de ferramentas numa empresa é assegurar uma organização mínima, ou seja, uma boa identificação e condicionamento das ferramentas, para que sejam facilmente localizadas.

Relativamente ao condicionamento das ferramentas, é necessário ter alguns cuidados básicos, para garantir que estas estão em perfeitas condições como por exemplo [6]:

- Gestão de ferramentas não significa conservar as ferramentas usadas, mas sim, prepará-las para que estejam em boas condições e prontas a ser usadas quando forem necessárias.
- Se a ferramenta não apresentar "defeitos" e estiver em condições de ser reutilizada, deve ser armazenada; senão devem ser tomadas medidas de manutenção como a substituição das pastilhas ou o envio para afiamento.
- Se a ferramenta for de pastilhas e não se conseguir prever quando será utilizada novamente é aconselhável retirar as pastilhas.
- Limpar sempre as ferramentas antes de as armazenar ou tomar medidas para evitar a corrosão quando estas estão guardadas durante muito tempo.
- Armazenar as ferramentas em consonância com a sua aplicação, tamanho e frequência de utilização.
- Armazenar sempre as ferramentas de forma que o seu acesso seja fácil.
- As ferramentas danificadas permanentemente nunca devem ser guardas junto das ferramentas novas ou reutilizáveis.
- É necessário consciencializar os funcionários sobre a importância da gestão das ferramentas e estabelecer regras para que sejam cumpridas.

Apesar das regras apresentadas anteriormente serem muito básicas, ainda hoje existem empresas em que não são aplicadas.

Relativamente ao armazenamento das ferramentas existem múltiplas possibilidades para criar na oficina um ambiente organizado. Uma das possibilidades é a apresentada na Figura 2, onde está instalado um suporte ao lado da máquina e que permite, por simples observação visual, verificar se a ferramenta está colocada na posição correta.

Figura 2: Controlo visual das ferramentas [7]

Quando a ferramenta se encontra fora da posição o fundo vermelho fica visível. Este tipo de sistema pode ser implementado isoladamente ou para servir de complemento a outro.

Outra solução para manter a oficina de uma fábrica organizada é a apresentada na Figura 3, onde existe um armário que se encontra junto da máquina com uma zona verde e outra vermelha. As ferramentas que estiverem posicionadas na zona verde estão prontas as ser utilizadas e as da zona vermelha já foram utilizadas e precisam de uma nova preparação.

Figura 3: Armário para suporte de ferramentas [3]

Para além das soluções apresentadas anteriormente para armazenar as ferramentas junto das máquinas é necessário arranjar uma solução para o transporte das ferramentas entre a ferramentaria e os equipamentos de maquinagem; essa solução pode passar pela utilização de carrinhos de transporte de ferramentas como os ilustrados na Figura 4.

Figura 4: Carinho para transporte das ferramentas entre a ferramentaria e os equipamentos [8]

Estes carrinhos baseiam-se na mesma filosofia dos armários para suporte das ferramentas apresentados na Figura 3, em que existem duas cores diferentes para colocar as ferramentas prontas a usar e as ferramentas usadas, evitando assim equívocos. De acordo com a empresa, a forma e o tipo de carrinhos podem ser alterados, mas devem ter sempre zonas distintas para ferramentas usadas e não usadas.

A implementação das soluções indicadas anteriormente não garante que os problemas organizacionais das ferramentas sejam resolvidos. Seguramente que os diminui mas isso dependerá muito da dimensão da empresa e do nível de organizacional em que se encontra e da forma como estas soluções são aplicadas.

2.3.2 Armazéns automáticos de ferramentas

Os armazéns automáticos de ferramentas actualmente encontram-se bastante difundidos, mas a sua eficácia depende de vários factores como a dimensão da empresa, o volume de trabalho, o tipo de produção ou o tipo de ferramenta a armazenar [9].

Quando se pretende implementar um sistema deste tipo com sucesso, é fundamental que se consiga responder às seguintes questões antes de iniciar a sua instalação [9]:

- Qual o nível de segurança necessário?
- Quais as dimensões e o formato das ferramentas a ser armazenadas?
- Serão guardados itens consumíveis e/ou não consumíveis?
- Qual a quantidade de matérias a ser guardado e quantos armazéns são necessários?
- O *stock* de ferramentas actualmente é centralizado ou descentralizado?

Em algumas empresas é regra os operadores das máquinas armazenarem junto a si as ferramentas de corte; isto acontece devido à preocupação sobre a eventual indisponibilidade das ferramentas e com a consequente paragem da produção. Contudo, ao acumular pastilhas e fresas nas gavetas das máquinas, criam-se problemas de fornecimento e *stock* subdimensionados. Normalmente, entre as medidas tomadas pelas empresas para combater este problema, destacam-se a restrição do acesso às ferramentas e o aumento da monitorização, o que faz que os armazéns pareçam fortificações [10].

Estas situações podem ser evitadas se forem utilizados armazéns automáticos de ferramentas, pois estes podem estar junto dos operadores, que em vez de armazenarem as ferramentas nas gavetas das máquinas podem fazê-lo no armazém automático. Esta é uma das situações em que estes armazéns são um bom apoio à gestão das ferramentas, mas existem outras tais como:

- Quando há necessidade de grandes deslocações a ferramentaria central para solicitar ferramentas;
- Quando há excesso de ferramentas em *stock* de apoio nas gavetas das máquinas;
- Quando nem todos os turnos dispõem de uma pessoa responsável pela gestão das ferramentas;
- Quando é necessário limitar a retirada diária de ferramentas;
- Quando o armazém das ferramentas é aberto.

Figura 5: Armazém automático de ferramentas Matrix da ISCAR [11]

A Figura 6 apresenta um modelo de armazém automático de ferramentas da ISCAR[4] que funciona em rede. Neste sistema, as informações sobre a movimentação das ferramentas no armazém automático, são controladas por um programa de gestão que as envia para um servidor central, onde podem ser consultadas a qualquer momento pelo pessoal devidamente credenciado.

O programa tem ainda a capacidade para enviar directamente uma mensagem aos fornecedores ou ao armazém central, se for detectada alguma anormalidade na quantidade de ferramentas armazenadas, para que uma compra de emergência seja realizada, para que o *stock* de ferramentas seja reposto ou apenas para verificar o que se passa.

[4]Iscar – É uma empresa multinacional Israelita, fundada em 1952, que produz ferramentas de corte para fresagem e torneamento.

Este sistema permite ainda que os dados sejam guardados num servidor externo à empresa, possibilitando que exista sempre uma cópia de segurança, e que sejam os próprios fornecedores a fazer a gestão das ferramentas.

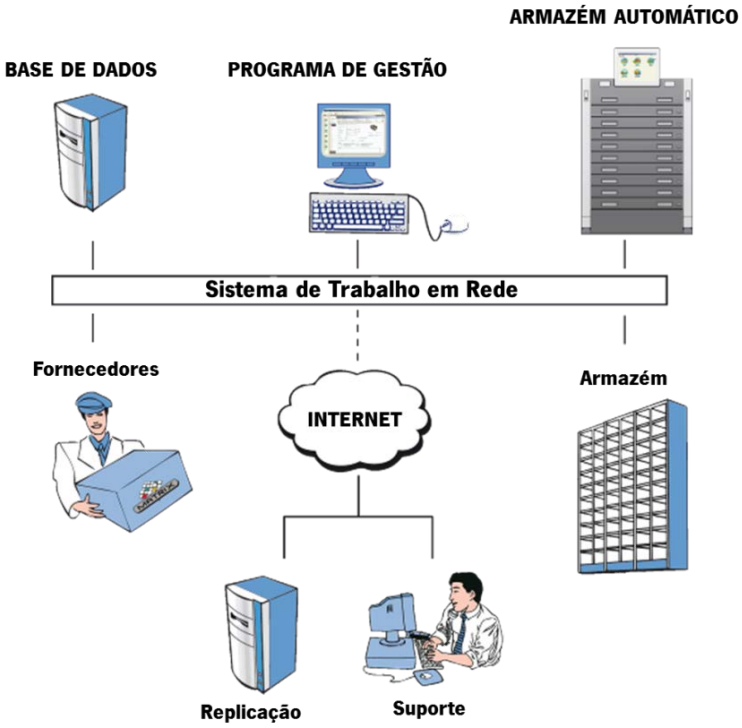


Figura 6: Diagrama dos sistemas de armazenamento automático de ISCAR (adaptado [12])

Segundo os fornecedores deste tipo de sistemas, os resultados esperados utilizando estes recursos são [9; 12]

- Diminuição do consumo de ferramentas após 4 meses;
- Eliminação dos *stocks* de segurança;
- Diminuição da probabilidade de falta de ferramentas;
- Acesso a informações em tempo real.

2.3.3 *Softwares* de gestão de ferramentas

Gerir de forma correta todos os dados técnicos e logísticos que rodeiam as ferramentas de corte, ter-se-ia tornado num problema para a indústria metalomecânica, se esta não tivesse sido informatizada, devido à grande quantidade de variáveis envolvidas. Esta informatização teve início, no princípio dos anos 80 com os primeiros *softwares* especializados na gestão de ferramentas que surgiram.

Estes *softwares* permitiram actuar directamente na organização das ferramentas, possibilitaram fazer uma avaliação cuidada dos procedimentos utilizados e encontrar soluções que tornaram a gestão das ferramentas mais rápida e funcional.

Com o passar dos anos diversas alterações foram sendo realizadas nos *softwares* de gestão de ferramentas, e várias possibilidades foram surgindo, podendo hoje em dia classificar-se segundo três tipos diferentes [3]:

- *Softwares* para a preparação de ferramentas e gestão dos *stocks*;
- *Softwares* que permitem a gestão dos *stocks*, planeamento e acompanhamento das montagens;
- *Softwares* integrados com sistemas de manufactura flexível (FMS) (*Flexible Manufacturing System*).

De acordo com um estudo realizado por investigadores franceses, um programa deste tipo, para ser completo deve incluir um conjunto de funções como:

- Monitorização da utilização
- Controlo do fluxo
- Permitir a criação de relatórios direccionados
- Auxiliar a preparação da produção
- Fornecer dados estáticos e históricos
- Auxiliar a selecção das condições de corte
- Fazer o controlo dos *stocks*

como ilustrado na Figura 7.

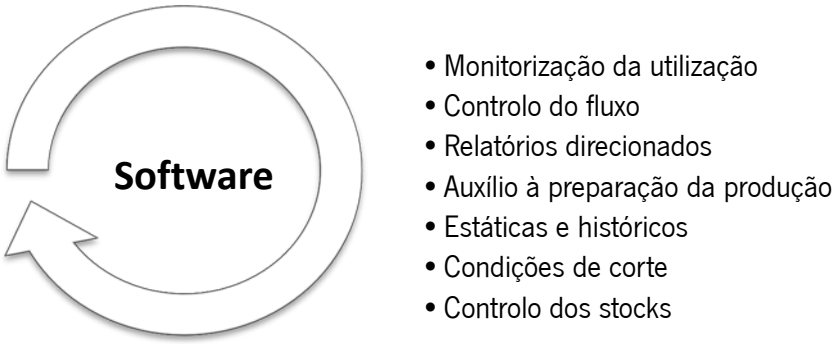


Figura 7: Funções de um *software* especializado na gestão de ferramentas (adaptado de [3])

Actualmente no mercado existe uma grande panóplia de *softwares* de gestão de ferramentas que possibilitam a interface com equipamentos de preparação, sistemas CAD/CAM, catálogos electrónicos dos fabricantes de ferramentas, sistemas de código de barras, sistemas de identificação RFID[5] e sistemas de armazenamento automático.

A interface com os sistemas CAD/CAM, por exemplo, é importante pois possibilita a simulação da maquinagem mais próxima da real, permitindo verificar com maior segurança se não existe qualquer colisão. Permite ainda que os programadores utilizem apenas os recursos que estão disponíveis na empresa, o que é conseguido pela utilização de uma base de dados com as ferramentas que realmente estão disponíveis na empresa, em vez de utilizar a base de dados das ferramentas que se encontra de origem no sistema CAM [8].

Relativamente ao controlo dos *stocks*, este tipo de *software* é uma mais-valia pois permite verificar os erros relacionados com a movimentação das ferramentas, utilizando meios de controlo e localização como os códigos de barras das ferramentas ou sistemas de localização RFID [8].

São múltiplas as melhorias alcançadas pela implantação de um sistema de gestão de ferramentas. No entanto podem-se destacar três breves razões para a aquisição e utilização de um sistema dedicado [13]:

- Apreciável diminuição dos custos com as ferramentas;
- Aumento da produtividade devido à redução no tempo de preparação das máquinas;
- Aumento da qualidade dos produtos com consequente melhoria na satisfação dos clientes.

[5] RFID - Identificação por radiofrequência ou em inglês "**R**adio-**F**requency **ID**entification" é uma técnica de identificação automática através de sinais de rádio, recuperando e armazenando dados remotamente através de dispositivos denominados etiquetas RFID.

3 Descrição do ciclo CAD/CAM/CNC no processo de fabrico

Um vasto conjunto de peças pode ser produzido, recorrendo ao ciclo CAD/CAM/CNC, desde a manufactura de um molde para injectar a capa de um telemóvel ou pára-choques de um automóvel.

O molde primeiramente tem de ser concebido/projectado; para isso recorre-se a um sistema CAD onde é criado o seu modelo geométrico que é depois transferido para um sistema CAM.

O utilizador do sistema CAM, terá de fornecer os dados para a manufactura, tais como: dimensão do material (*stock*), as estratégias de maquinagem, a localização do zero peça e os parâmetros tecnológicos (velocidade de corte, penetrações, entre outros), para que o sistema possa calcular a trajectória da ferramenta. Esta fica gravada num ficheiro neutro, no formato binário que em alguns *softwares* se denomina por CLDATA (*Cutter Location Date File*) ou algum formato ASCII [14].

Este ficheiro pode ser denominado nativo, por apenas ser reconhecido pelo *software* CAM específico, não tem qualquer função para o equipamento CNC, pois não se encontra na linguagem de programação ISO 6983 [14].

Na maioria dos casos, os sistemas CAM possuem um módulo incorporado no sistema, conhecido como pós-processador, que tem como função traduzir as instruções neutras do sistema CAM para as instruções específicas requeridas pela máquina CNC [15].

A Figura 8 apresenta as fases de um sistema CAD/CAM/CNC.

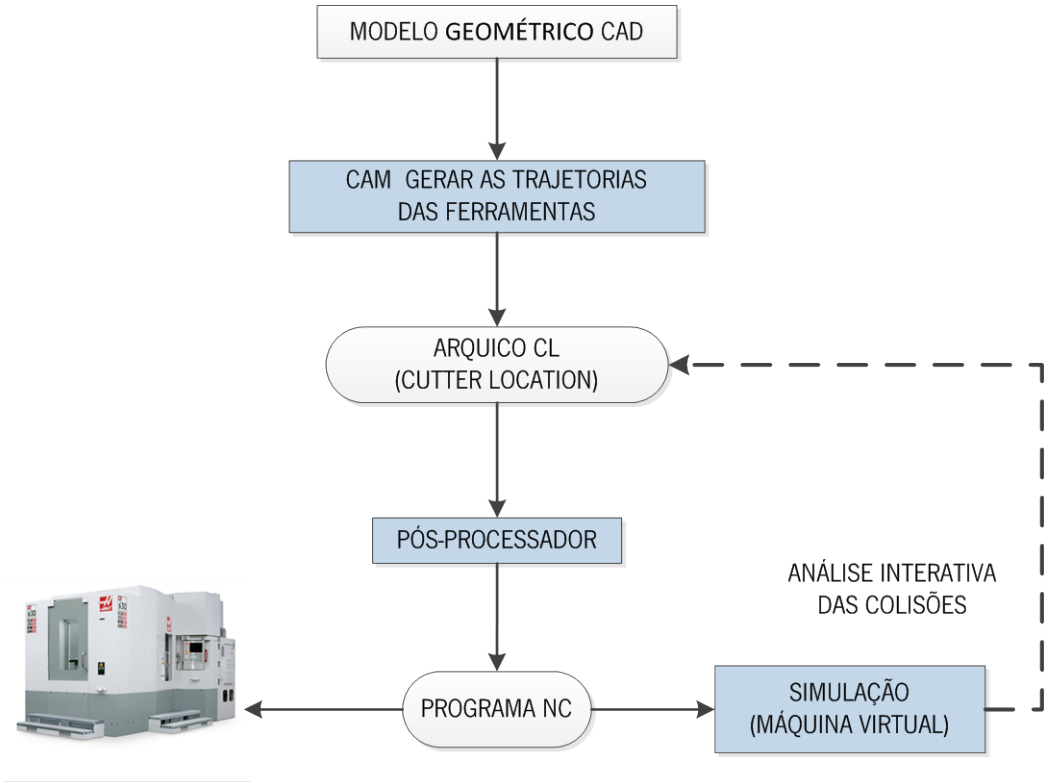


Figura 8: Fases da cadeia CAD/CAM/CNC (adaptado de [16])

Na cadeia de manufactura suportada por CAD/CAM/CNC estas são algumas das características que se devem destacar:

- Menor tempo de paragem da máquina CNC;
- Menor tempo de programação;
- Programação tanto de peças de geometria complexa como simples;
- Menor influência do programador, logo a possibilidade de erro é menor;
- Possibilidade de utilização de recursos gráficos, que permitem visualizar a simulação de maquinagem e detectar possíveis colisões;
- Possibilidade de utilização de uma grande variedade de estratégias de maquinagem.

Há um aumento progressivo da necessidade da integração entre as fases do desenvolvimento do produto, com o intuito de reduzir o tempo de lançamento de novos produtos e os custos. A cadeia CAD/CAM/CNC torna-se num dos métodos mais eficazes para cumprir estes objectivos, pois actualmente os produtos apresentam formas complexas, tempos de projecto e lançamento muito baixos que só assim é possível cumprir [17].

3.1 *Softwares* CAD

De acordo com a bibliografia, as primeiras aplicações do desenho assistido por computador tiveram início na década de 50, no Instituto de Tecnologia de Massachusetts [18].

Os *softwares* daquela época eram bastante limitados, comparando com os atuais. No entanto já apresentavam grandes vantagens comparativamente aos desenhos realizados em estirador.

Os sistemas CAD 2D utilizados naquela altura foram desenvolvidos para colmatar os problemas existentes nos desenhos realizados manualmente, que eram morosos e de difícil reutilização. Com o desenvolvimento do CAD, o desenho 2D, torna-se obsoleto para algumas aplicações industriais [15].

Na actualidade, as plataformas de CAD apresentam grandes desenvolvimentos na modelação tridimensional (3D), podendo sere dividias em três tipos de modelação de sólidos, superfícies e híbridas.

3.1.1 Modelação de sólidos

Os modeladores de sólidos criam modelos de objectos tridimensionais sólidos, que possuem centro de massa e volume. Estes basicamente baseiam-se nas operações booleanas (intersecções, subtracções e somas, como representado na Figura 9) para obter as geometrias para a modelação dos objectos. São ágeis no trabalho de modelação [19], em virtude da compacidade dos dados necessários para criar esta representação.

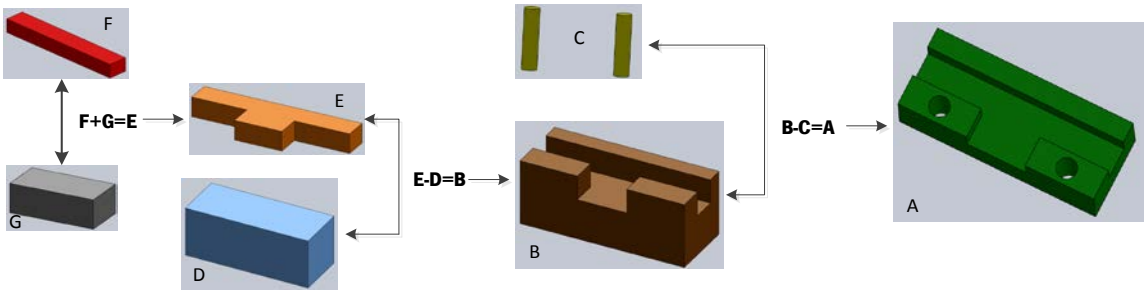


Figura 9: Operações Booleanas (adaptado [20])

Na Figura 9 é apresentado um "histórico" das operações realizadas para a construção possível da peça A. Este "histórico" fica armazenado na árvore de decisão, que contém entre outras

informações as operações booleanas executadas e as características geométricas. Esta árvore em alguns *softwares* pode estar disponível para os utilizados.

No caso, por exemplo, do *SolidWorks,* a árvore (Figura 10) está disponível e pode ser alterada. Tomando ainda como exemplo a Figura 9, se for necessário aumentar o diâmetro dos furos da peça A, que foi produzida pela subtracção da peça C, a modificação a realizar é apenas aumentar o diâmetro dos cilindros na árvore de decisão, e de forma automática o *software* recalculará as informações e criará uma peça com as novas especificações. Este tipo de *software* não é o mais adequado para modelação de forma geométricas complexas como é facilmente compreensível no exemplo apresentado na Figura 9.

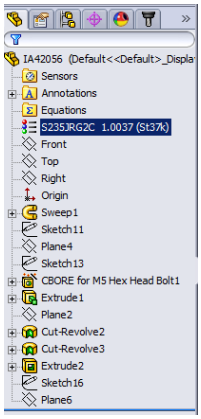


Figura 10: Árvore de decisão *SolidWorks* (autor)

3.1.2 Modelação de superfícies

Os sistemas CAD que utilizam a modelação de superfícies são sistemas, que permitem a modelação tridimensional de formas geométricas complexas sem espessura, em que qualquer ponto da superfície pode ser alterado [19]. Esta possibilidade de modificar qualquer ponto da superfície nas direcções X, Y e Z, permite a modelação de formas complexas como ilustrado na Figura 11.

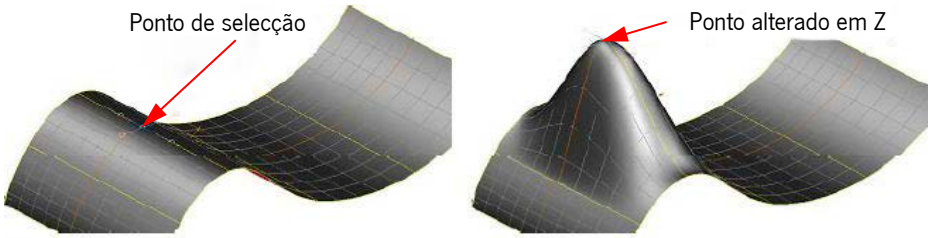


Figura 11: Geometria alterada pela modificação de um ponto na coordenada Z (adaptado de [19])

Neste tipo de *software* o trabalho de desenho é mais penoso pois não permitem a utilização de operações booleanas entre superfícies, como os modeladores de sólidos. Todavia estes sistemas permitem a criação de formas complexas que a modelação de sólidos não permite.

3.1.3 Modelação híbrida

Como o próprio nome indica a modelação híbrida tem o melhor dos dois métodos apresentados anteriormente. Este tipo de *software* CAD utiliza modelação mais adequada para cada situação, o que representa uma grande versatilidade. Num produto que requeira a modelação de formas simples e complexas ao mesmo tempo, pode ser utilizado a modelação de sólidos e de superfícies ao mesmo tempo e no mesmo *software*.

O inconveniente deste tipo de sistemas é o seu preço elevado e a necessidade de operadores muito qualificados.

3.2 Integração entre os sistemas CAD e CAM

Após a concepção de um modelo tridimensional num sistema CAD, quer seja de uma forma simples ou complexa, é necessário realizar a transferência do modelo geométrico para um sistema CAM, onde serão realizadas a operações que permitirão realizar a programação NC.

Nos sistemas CAD/CAM que possuem o mesmo modelador geométrico, a transferência geométrica entre os sistemas efectua-se de forma directa: o modelo geométrico criado no sistema CAD é transferido para o CAM, sem a ajuda de interfaces de transferência [21].

Apesar desta forma de transferência apenas ser possível em sistemas CAD/CAM do mesmo fabricante ou utilizando *softwares* CAM que foram desenvolvidos expressamente por terceiros para trabalhar dentro do ambiente gráfico do modelador geométrico, este tipo de transferência é um recurso interessante, que os fabricantes apelidam de associatividade. Esta associatividade entre os sistemas é responsável por criar uma ligação entre o modelo em CAD e o sistema CAM, através do qual qualquer modificação no modelo geométrico é automaticamente identificada e actualizada no sistema CAM.

Esta tecnologia poupa muito tempo de programação pois o sistema CAM adapta-se automaticamente às alterações, como é possível observar na Figura 12.

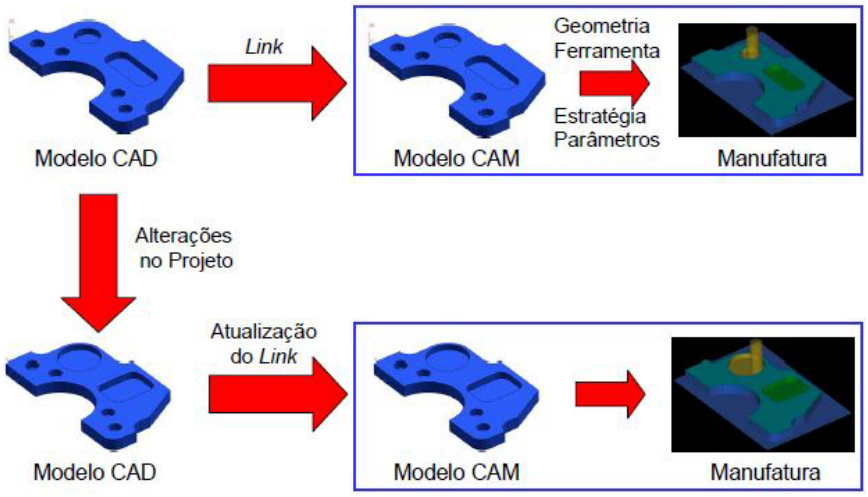


Figura 12: Sistemas CAD/CAM com associatividade [19]

Quando esta tecnologia não está disponível, todas as modificações realizadas no modelo CAD, obrigam a refazer todas as operações no sistema CAM, anteriormente realizadas como representado na Figura 13, o que aumenta muito o tempo de programação.

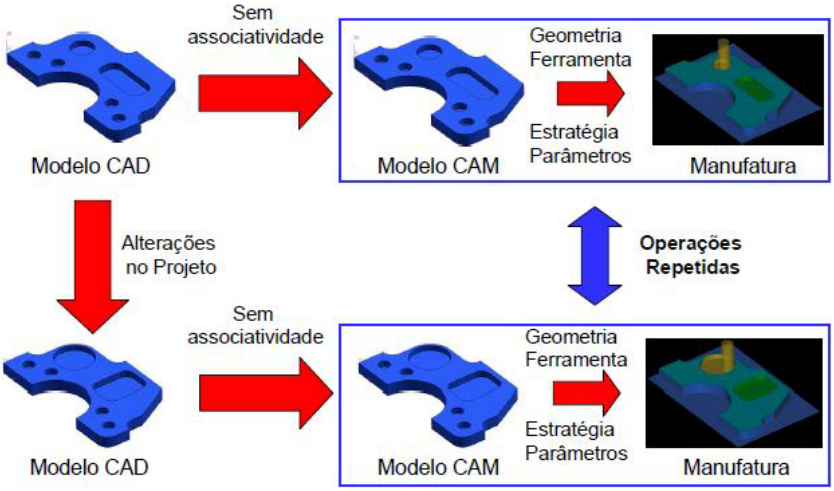


Figura 13: Sistema CAD/CAM sem associatividade [19]

Quando os *softwares* CAD/CAM não são do mesmo fabricante, ou o módulo CAM não foi projectado para correr dentro do CAD, é necessário que estes sistemas possuam o mesmo tipo de interface de transferência, para se seja possível realizar a transferência do modelo geométrico.

A interface de transferência é responsável por transformar o modelo tridimensional do sistema CAD, num formato neutro, ou seja, num formato aberto a todos os sistemas de CAD/CAM, desde que estes tenham o mesmo tipo de interface de transferência. Esta conversão é realizada

de forma automática. Os sistemas utilizam os seus recursos geométricos para modificar o modelo geométrico original num modelo geométrico de formato neutro [22]. Na Figura 14 é possível observar a sequência de conversão de um modelo geométrico original num modelo geométrico de formato neutro.

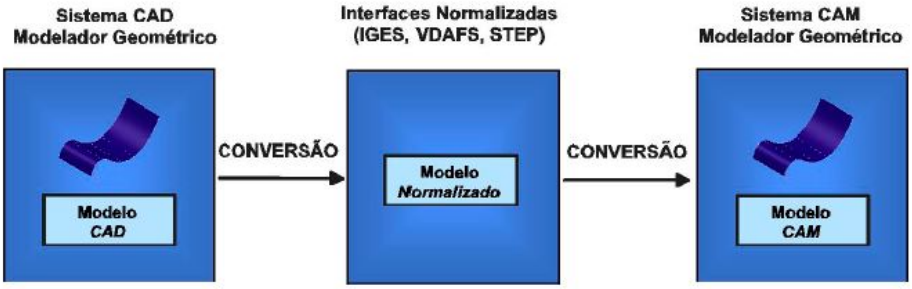


Figura 14: Sequência de converção de um modelo geométrico original num modelo geométrico de formato neutro [19]

Das opções de interface de transferência mais frequentemente utilizadas por este tipo de sistemas estão o STEP[6], IGES[7] e VDAFS[8]. Estes formatos de transferência possuem distintos recursos geométricos para a conversão dos modelos.

Podem acontecer certos problemas com a qualidade e a precisão geométrica durante a conversão do modelo geométrico criado em CAD para modelo de formato neutro, quando o modelo geométrico primitivo possuir elementos geométricos que não estão presentes nos recursos geométricos disponíveis na interface de transferência seleccionada. O elemento será excluído ou substituído por outro elemento geométrico [23]. Estes problemas de qualidade e precisão resultantes do formato neutro podem provocar má geração da trajectória da ferramenta e prováveis defeitos nas peças produzidas.

Assim sendo, a selecção de interface de transferência utilizada na conversão é um factor importante para garantir a qualidade e precisão do modelo geométrico neutro, para que não existam problemas entre os sistemas CAD/CAM.

[6] STEP - **ST**andard for the **E**xchange of **P**roduct model data é o nome oficial da norma ISO 10303. Trata-se de um padrão internacional para a integração, apresentação e o intercâmbio de dados de produtos industriais, via computador.

[7] IGES - **I**nitial **G**raphics **E**xchange **S**pecification é um padrão ANSI que define uma forma neutro para a troca de informações entre *softwares* CAD e CAM.

[8] VDAFS - Verban des Automobilindustrie Flalchen-Schnittslelle é outro dos formatos utilizado para realizar a troca de ficheiros entre *softwares*.

Na Tabela 1 é possível observar os diferentes recursos geométricos que cada formato normalizado utiliza para a troca de geometrias entre sistemas. Pela análise da tabela é possível verificar que o formato que apresenta maior número de recursos geométricos é o tipo STEP, e por conseguinte é o formato que permite uma melhor conversão entre o modelo original e o neutro.

Tabela 1: Tipos de recursos presentes em algumas interfaces de transferências [22]

Tipo de Elemento	VDAFS	IGES	STEP
Ponto	X	X	X
Vetor	X		X
Reta	U	X	X
Arco de Círculo	X	X	X
Curva de secção cônica		X	X
Curva Polinomial	X	U	X
Curva B-Spline		U	X
Curva Nurbs		X	X
Plano	U	X	X
Cilindro		X	X
Cone		X	X
Esfera		X	X
Elipsoide		X	X
Superfície anelar		X	X
Superfície Polinomial	X	E	X
Superfície B-Spline		U	X
Superfície Nurbs		X	X
Curva em superfície polinomial	X	U	X
Superfície de Regulagem	E	X	X
Superfície polinomial limitada	X	U	X
Sólidos		E	X
(X=contém; E=limitado; U=contido como sub-elemento)			

4 Caracterização do processo produtivo da empresa

O caso de estudo centra-se na empresa S. Roque - Máquinas e Tecnologia Laser S.A. (Figura 15) que se dedica ao fabrico de máquinas e equipamentos para a indústria de estamparia e embalagem. Actualmente produz e comercializa 13 produtos diferentes que servem clientes um pouco por todo o mundo, nomeadamente: Espanha, França, Itália, Inglaterra, Alemanha, Holanda, Suécia, Roménia, África do Sul, Marrocos, Tunísia, Angola, Turquia, Kuwait, Índia, Rússia, Bulgária, Brasil, Argentina, Peru, Honduras, El Salvador e E.U.A [24].

A S. Roque - Máquinas e Tecnologia Laser S.A., dedicada ao desenvolvimento da indústria têxtil, está sediada na freguesia de Oliveira S. Mateus, na vila de Riba de Ave, no concelho de Vila Nova de Famalicão, que é uma zona geográfica e economicamente enquadrada na região do Vale do Ave, reconhecida como uma zona de empresas ligadas à indústria têxtil e vestuário. A empresa data a sua fundação em 1979.

Figura 15: Fachada da S. Roque - Máquinas e Tecnologia Laser S.A. [25]

Alguns dados sobre a empresa:

Localização: Rua das Ribes; 4765-909 Riba de Ave, Portugal;
Correio electrónico: info@sroque.pt
Sitio: http://www.sroque.pt
Coordenadas GPS: 41.403129 -8.416032

Figura 16: Logotipo da S. Roque - Máquinas e Tecnologia Laser S.A. [24]

Que apresenta o seguinte layout (Figura 17).

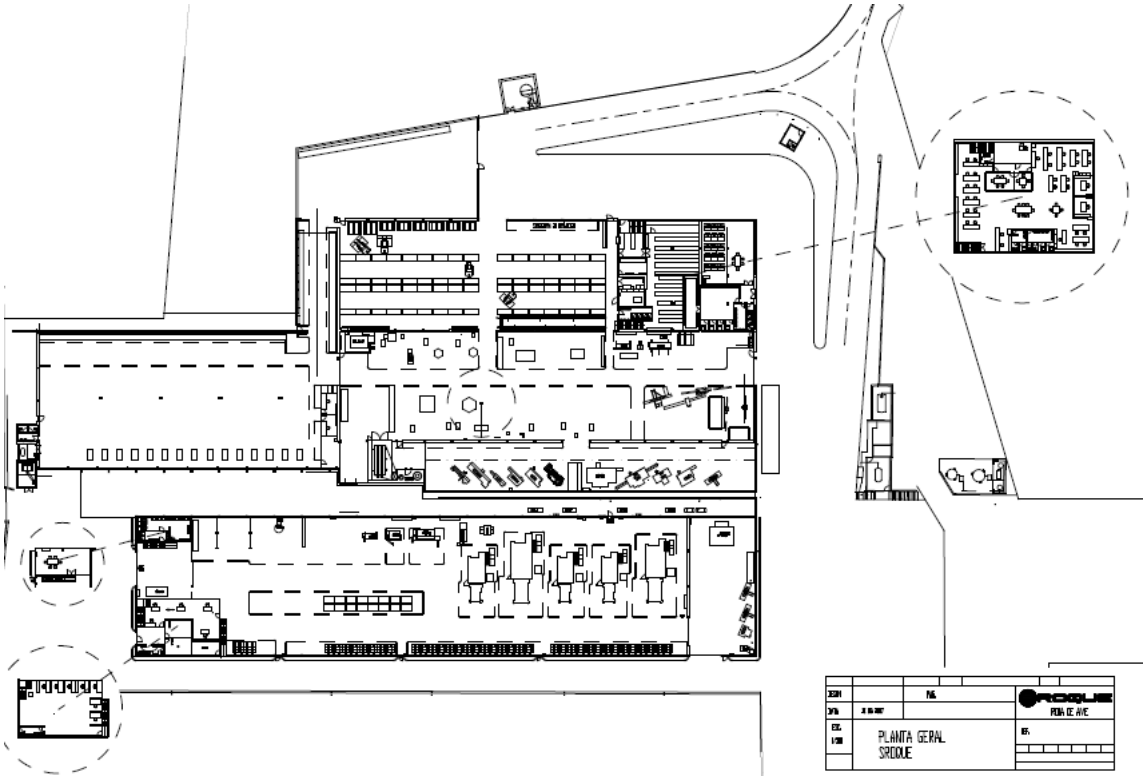


Figura 17: *Layout* Geral das instalações da S. Roque - Máquinas e Tecnologia Laser S.A. [24]

A empresa conta actualmente com uma estrutura que alberga aproximadamente 190 colaboradores distribuídos pelas funções representadas na Figura 18.

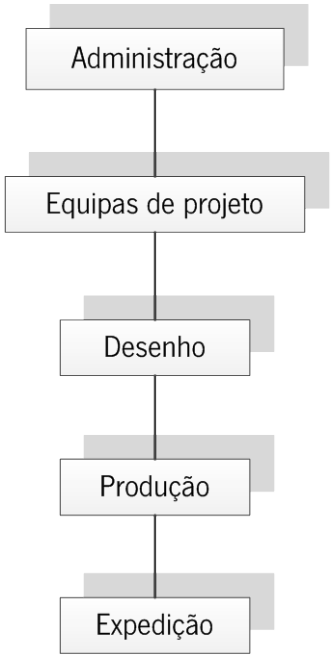


Figura 18: Diagrama de processos da empresa (autor)

4.1 Instalações e equipamentos

Tal como foi descrito na secção 1, o trabalho que permitiu a escrita desta dissertação foi desenvolvido em ambiente industrial, mais precisamente na secção de maquinagem (Figura 19) da empresa S. Roque - Máquinas e Tecnologia Laser S.A. Esta secção da empresa é responsável por realizar todas as operações de maquinagem para os equipamentos que a empresa produz, e ainda faz prestação de serviços a terceiros.

Figura 19: Secção de maquinagem [25]

A secção de maquinagem da empresa (Anexo A) pode ser dividida em três grandes grupos, que englobam tanto os equipamentos de produção como os não ligados à produção:

- Equipamentos de fresagem;
- Equipamentos de torneamento;
- Sistemas de auxílio à produção.

Equipamentos de fresagem

1. Fresadoras manuais (1 fresadora)

Figura 20: Exemplo de uma fresadora [26]

2. Centros de maquinagem (5 centros)

Figura 21: Exemplo de um centro de maquinagem HAAS [27]

Equipamentos de torneamento

1. Tornos manuais (2 tornos)

Figura 22: Exemplo de um torno manual [28]

2. Centros de torneamento (3 centros)

Figura 23: Exemplo de um centro de torneamento Mazak [29]

Sistemas auxiliares de produção

Os sistemas auxiliares da produção nesta secção de maquinagem são equipamentos que não atuam directamente na manufactura do produto, mas sem os quais a maquinagem cessa ou abranda a sua actividade, ou ainda vê diminuído o seu nível de qualidade. Nesta categoria estão incluídos:

1. Sistemas de aperto
   a. Prensas manuais
   b. Prensas magnéticas
   c. Apertadores

Figura 24: Exemplo de uma prensa manual [30]

2. Ferramentas de Corte
   a. Fresas
   b. Ferros de corte
   c. Brocas
   d. Mandris

Figura 25: Exemplo de fresas de metal duro [31]

3. Calibradores
   a. Calibradores internos para centros de maquinagem
   b. Calibradores de braço retráctil para tornos
   c. Calibrador externo para centros de maquinagem

Figura 26: Exemplo de calibrador interno para centros de maquinagem

4 Sistema de posicionamento (zero peça)
   a. Sistema de palpação

Figura 27: Exemplo do sistema de apalpação utilizado num centro de maquinagem

5. Sistemas de Transporte
   a. Empilhador
   b. Plataformas elevatórias.
   c. Porta paletes
   d Ponte rolante

Figura 28: Exemplo de porta paletes [32]

Após esta pequena apresentação da empresa e da secção de maquinagem que dela faz parte, vai ser apresentado no capítulo a seguir, a situação actual deste sector da empresa, assim como propostas e soluções com vista ao aumento da produtividade e eficiência da mesma empresa da mesma empresa.

5 Caracterização da situação actual (Modus Operandi)

Após esta pequena descrição da empresa, dos meios e do ambiente onde foi realizada a dissertação, vai-se passar para a parte fulcral do trabalho que é: Procedimentos para Fabrico de Componentes por CNC: Organização, Processos e Controlo.

Neste espaço será feita uma análise à situação actual da oficina, serão descritos os problemas de organização, os processos e métodos de controlo encontrados.

Esta análise incide apenas sobre os processos de fresagem, pois foi identificada esta área como aquela onde residem os maiores problemas.

Serão ainda apresentadas propostas de solução para os problemas descritos, estando algumas já implementadas na prática.

Por último, serão descritos de forma sucinta, os procedimentos utilizados e as limitações encontradas durante a implementação do CAM no processo produtivo.

5.1 Desgaste das ferramentas

O desgaste excessivo das ferramentas de corte é um dos grandes problemas existentes na secção analisada. Este acontece sempre que existe contacto ou escorregamento entre a ferramenta e a peça a ser maquinada, pois nestas operações geram-se sempre pressões e temperaturas elevadas. Assim sendo é compreensível que não exista um tipo de material, que sujeito a estas condições, seja capaz de manter a sua forma original ou não sofra qualquer tipo de desgaste. O desgaste de uma ferramenta é definido como "sendo a mudança da forma original por perda de massa ou deformação durante o corte" [33].

5.1.1 Formas de desgaste

As formas de desgaste das ferramentas de corte são variadas (Figura 29). No entanto, podem considerar-se à partida dois grupos [34]:

- Os que causam o colapso da ferramenta de uma forma mais ou menos abrupta;
- Os que levam à remoção gradual e progressiva de material nas faces da ferramenta.

É comum designar o primeiro grupo por avaria e o segundo grupo por desgaste. No que diz respeito às avarias existem três formas básicas [34]:

- As roturas frágeis da aresta de corte (lascamento) ou da ponta;
- A deformação plástica do gume;
- As fissuras em "pente".

As roturas frágeis da aresta de corte acontecem, quase sempre, devido a tensões de compressão de origem mecânica (resultantes da força de maquinagem) e descontinuidades de corte (inclusões duras, corte interrompido). Já a deformação plástica do gume, é causada por elevadas temperaturas e tensões na face de ataque (a força aplicada na aresta dá origem a elevadas tensões mecânicas no gume com eventuais variações bruscas que podem originar rotura da ponta ou lascamento da aresta de corte). Por último há as fissuras em pente, que são originadas por tensões térmicas provocadas, por exemplo, por fases sucessivas de aquecimento e arrefecimento bruscos do gume dos dentes da fresa para os quais o acesso do fluido de corte é irregular [34].

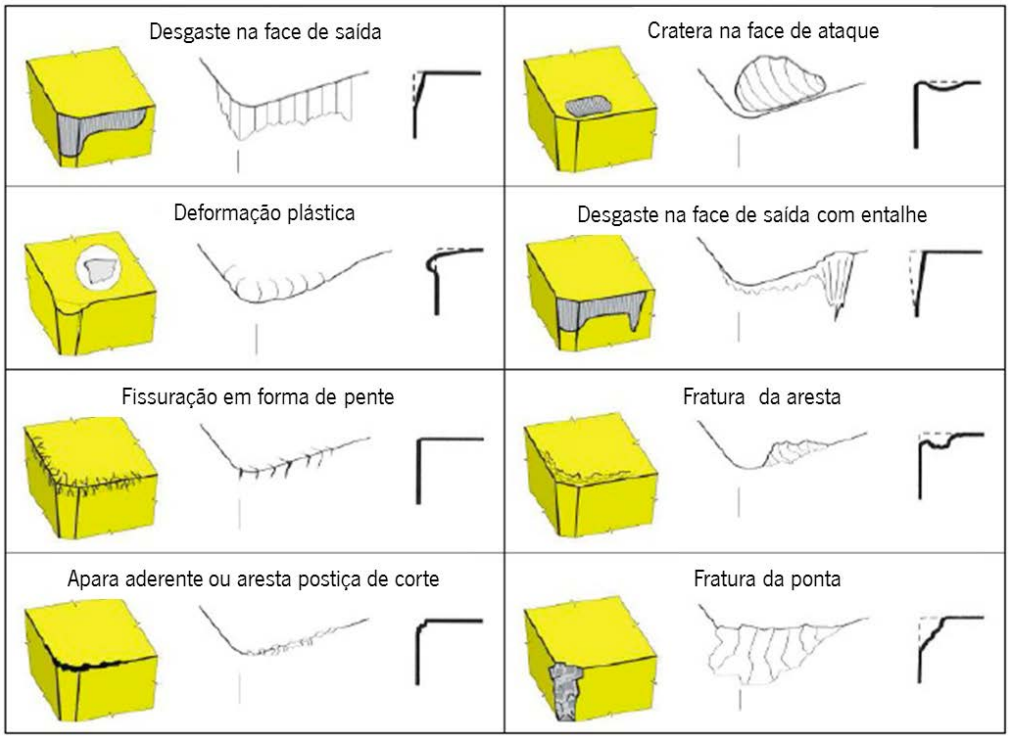


Figura 29: Classificação dos diferentes tipos de desgaste (adaptado de [35])

5.1.2 Análise dos tipos de desgaste encontrados na S. Roque

Os tipos de avarias e desgastes a que as ferramentas de corte estão sujeitas e após analisar as ferramentas de corte disponíveis na S. Roque, foi possível concluir quais os tipos de avarias mais frequentes são:

- Fractura da ponta Figura 30;
- Fractura da aresta Figura 31;
- Microlascamentos Figura 32.

Figura 30: Fractura de ponta numa fresa de topo (autor)

Figura 31: Fractura de aresta numa fresa de topo (autor)

Figura 32: Microlascamento numa fresa de topo (autor)

Estes tipos de avarias acontecem com muita frequência o que leva a pensar porque será que isto acontece?

Após uma procura dos possíveis factores para o desgaste precoce da ferramenta chegou-se à conclusão que, os parâmetros de corte utilizados muitas vezes estão fora das especificações dos fabricantes das ferramentas, que a escolhas das geometrias das ferramentas não estão de

acordo com as operações realizadas e que as estratégias de maquinagem utilizadas não são as mais adequadas para aumentar a vida das ferramentas.

5.1.2.1 Parâmetros de corte

Os parâmetros de corte para uma operação de fresagem são: velocidade de rotação, velocidade de avanço, profundidade de corte e largura de corte como representado na Figura 33.

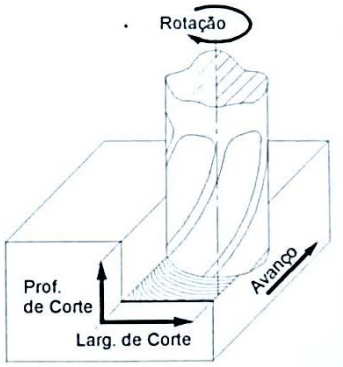


Figura 33: Representação dos parâmetros de corte [36]

Velocidade de rotação [rpm] – O valor da velocidade de rotação depende da velocidade de corte estabelecida. A velocidade de corte corresponde à velocidade linear de um ponto na periferia da fresa e indica a velocidade a que se pode cortar o material.

Velocidade de avanço [mm/min ou min/rot] – Velocidade com que a fresa se desloca sobre a peça, sendo a responsável por definir a espessura da apara. Esta juntamente com a velocidade de rotação são os factores com maior influência na vida da ferramenta.

Profundidade de corte [mm] - É altura de penetração da fresa no material, sendo este o parâmetro que define a altura da apara.

Largura de corte [mm] – A largura de corte é a dimensão da fresa que está em contacto com a peça durante o corte; é calculada em função do diâmetro da fresa, normalmente está entre 0.5 a 0.9 do diâmetro.

Os efeitos que estes parâmetros têm sobre a vida útil das ferramentas são vastos como pode ser observado nas Figura 34, Figura 35 e Figura 36.

Figura 34: Influência da profundidade de corte na vida útil da ferramenta [37]

Muito pequena

- Perda de controlo das limalhas
- Vibrações
- Calor excessivo
- Não económico

Muito profunda

- Alto consumo de potência
- Aumento nas forças de corte
- Quebra do fio de corte

Figura 35: Influência do avanço por rotação na vida útil da ferramenta [37]

Muito leve

- Limalhas em forma de fita
- Desgaste rápido
- Aresta postiça
- Não económico

Muito pesada

- Perda de controlo das limalhas
- Acabamento superficial insatisfatório
- Deformações plásticas
- Soldadura da limalha

Figura 36: Influência da velocidade de corte na vida útil da ferramenta [37]

Muito baixa

- Aresta postiça
- Perda do corte da aresta
- Não económico
- Superfície insatisfatória

Muito alta

- Desgaste rápido
- Acabamento insatisfatório
- Deformação plástica

5.1.2.2 Selecção dos parâmetros de corte

Aquando do início do estágio, a selecção dos parâmetros de corte na oficina não era realizada, pois os funcionários ajustavam os parâmetros segundo o seu conhecimento empírico e os sinais produzidos durante as operações (ranger, vibrações).

Era comum quando se perguntava ao responsável da secção porque utilizava aquela velocidade, ele responder "é a que provoca menor desgaste nas ferramentas" ou "foi a que o vendedor me indicou".

Não era hábito aplicar as equações que permitem determinar a velocidade de rotação e avanço de acordo com as especificações do fornecedor.

Por isso, foi necessário explicar que a velocidade de rotação e de corte dependem uma da outra e que a velocidade de corte é indicada pelo fabricante dentro de um intervalo de valores, pelo que é importante ter em consideração esses intervalos. Estes valores foram obtidos através de testes por ele realizados em que foram considerados parâmetros como o material da peça a maquinar, as características da ferramenta e condições da operação (desbaste ou acabamento), entre outros. Por isso a escolha da velocidade de corte deve ser feita sempre dentro da gama de valores indicados, caso contrário corre-se o risco de ver drasticamente reduzida a vida útil da ferramenta. Assim, para determinar a velocidade de rotação da árvore do equipamento deve sempre ser utilizada a equação (1), que respeita as especificações.

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D} \qquad (1)$$

em que:
n - Velocidade de rotação (rpm)
Vc - Velocidade de corte (m/min)
D - Diâmetro da fresa (mm)

A velocidade de avanço é calculada através da equação (2), onde devem ser considerados um conjunto de factores como, o material a maquinar, as características da ferramenta, para determinar as variáveis que fazem parte da equação.

$$vf = fz \times z \times n \qquad (2)$$

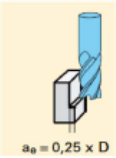
em que:
vf – Velocidade de avanço de mesa (mm/min)
fz – Avanço por navalha (mm)
n – Velocidade de rotação de fresa (rpm)
z – Número de navalhas

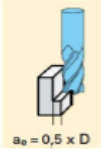
Foi ainda esclarecido que a profundidade de corte nunca deve exceder a profundidade indicada pelo fabricante, pois de nada serve calcular a velocidade de avanço e de rotação se a penetração máxima por passagem for ultrapassada, porque desta forma as condições de corte são alteradas em relação às testadas pelo fabricante, que garantem uma determinada vida útil para a ferramenta.

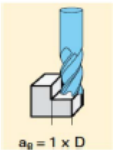
Mas dizer que ela não deve exceder, não significa que não deve ser utilizada, pois do ponto de vista económico deve-se utilizar o maior comprimento de aresta possivel. Assim sendo, para um determinado avanço, quanto maior for a profundidade, maior é o volume de material removido, logo para um determinado período de vida útil, maior é a rentabilidade da ferramenta. No entanto existem factores que limitam a profundidade de corte, como são o sistema de fixação da peça, a rigidez da máquina, o sistema de fixação da ferramenta, entre outros.

Por último, foram realizados alguns exemplos (ver Anexo B , com o objectivo de ensinar os operadores a determinar os parâmetros de corte. Nestes exemplos são indicados o material da peça a maquinar e as características das ferramentas, e são ilustrados, passo a passo, os procedimentos necessários para determinar a velocidade de rotação e de avanço. Para além deste material de apoio foi criado um documento (Figura 37) onde é possível consultar as velocidades de rotação e avanço para uma vasta gama de ferramentas e materiais existentes na oficina

Velocidade de rotação e avanço [3722]







Aço Estrutural

Dados gerais					ae=0,1D / ap=1D			ae=0,5D / ap=1D			ae=1D / ap=1D		
Diametro [mm]	Vc [m/min]		n [rpm]		fz [mm/dente]	Vf_{min} 0,1D [mm/min]	Vf_{max} 0,1D [mm/min]	fz [mm/dente]	Vf_{min} 0,5D [mm/min]	Vf_{max} 0,5D [mm/min]	fz [mm/dente]	Vf_{min} 1D [mm/min]	Vf_{max} 1D] [mm/min]
4	157	193	12500	15366	0,0195	975	1199	0,00975	488	599	0,004875	244	300
6	157	193	8333	10244	0,033	1100	1352	0,0165	550	676	0,00825	275	338
8	157	193	6250	7683	0,047	1175	1444	0,0235	588	722	0,01175	294	361
10	157	193	5000	6146	0,059	1180	1451	0,0295	590	725	0,01475	295	363
12	157	193	4167	5122	0,072	1200	1475	0,036	600	738	0,018	300	369
14	157	193	3571	4390	0,08	1143	1405	0,04	571	702	0,02	286	351
16	157	193	3125	3842	0,088	1100	1352	0,044	550	676	0,022	275	338
20	157	193	2500	3073	0,1	1000	1229	0,05	500	615	0,025	250	307

Construção corte Facil

Dados gerais					ae=0,1D			ae=0,5D			ae=1D		
Diametro [mm]	Vc [m/min]		n [rpm]		fz [mm/dente]	Vf_{min} 0,1D [mm/min]	Vf_{max} 0,1D [mm/min]	fz [mm/dente]	Vf_{min} 0,5D [mm/min]	Vf_{max} 0,5D [mm/min]	fz [mm/dente]	Vf_{min} 1D [mm/min]	Vf_{max} 1D [mm/min]
4	157	193	12500	15366	0,021	1050	1291	0,0105	525	645	0,00525	263	323
6	157	193	8333	10244	0,029	967	1188	0,0145	483	594	0,00725	242	297
8	157	193	6250	7683	0,042	1050	1291	0,021	525	645	0,0105	263	323
10	157	193	5000	6146	0,053	1060	1303	0,0265	530	652	0,01325	265	326
12	157	193	4167	5122	0,063	1050	1291	0,0315	525	645	0,01575	263	323
14	157	193	3571	4390	0,071	1014	1247	0,0355	507	623	0,01775	254	312
16	157	193	3125	3842	0,079	988	1214	0,0395	494	607	0,01975	247	303
20	157	193	2500	3073	0,097	970	1192	0,0485	485	596	0,02425	243	298

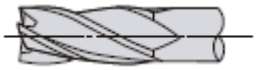
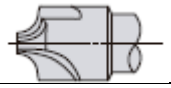
Figura 37: Excerto do documento com os parâmetros de corte recomendados (autor)

5.1.2.3 Geometria das ferramentas

A escolha da geometria da ferramenta de corte, de acordo com a tarefa a executar é um factor fundamental na vida da ferramenta, pois influencia a formação e a saída da limalha, as forças de corte, o degaste da ferramenta, a qualidade da superfície e o tipo de aplicação.

As fresas de topo de metal duro (como a da Figura 30) podem apresentar diferentes tipos e formatos como ilustrado na Tabela 2, onde, para cada uma, são apresentadas as principais características.

Tabela 2: Tipos e formatos das fresas de topo (adaptado de [38])

Tipo	Formato	Característica
Paralelo		O tipo paralelo é utilizado para maquinar rasgos, contornos e fresagem a 90°. Pode ser utilizado para desbaste, semiacabamento e acabamento
Cónicas		Pode ser utilizada para fresagem de protótipos de moldes e faces em ângulo.
Desbaste		Os dentes de desbaste possuem um formato de onda que produz pequenas limalhas. A resistência à maquinagem é baixa e é apropriada para desbaste. Não pode ser utilizada para acabamento. A face do dente é reafíavel.
Forma		Neste exemplo a fresa tem um formato específico que permite passar de quinas vivas para uma aresta com raio, mas este tipo de ferramenta pode ser produzida com infinitas formas.

Além da diversidade de formas apresentadas na Tabela 2, as fresas de topo podem ter múltiplas arestas de corte como representado na Figura 38. Cada configuração é apropriada para um tipo de aplicação específica, apresentando vantagens e desvantagens como enunciado na Tabela 3.

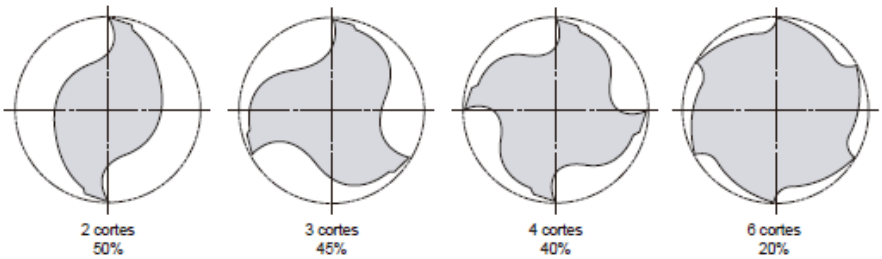


Figura 38: Configuração do tipo de arestas de corte das fresas de topo [38]

Tabela 3: Características e aplicações das fresas de topo (adaptado de [38])

		2 Cortes	**3 Cortes**	**4 Cortes**	**6 Cortes**
Características	**Vantagens**	Saída das limalhas é excelente. Indicada para a maquinagem em mergulho. Baixo esforço de corte.	Saída das limalhas é excelente. Indicada para a maquinagem em mergulho.	Alta rigidez	Alta rigidez. Durabilidade superior da aresta de corte
	Desvantagens	Baixa rigidez.	Diâmetro não é fácil de medir.	Baixa saída de limalhas.	Baixa saída de limalha
Aplicação		Rasgos, contornos, mergulho, etc. Amplo campo de aplicação.	Rasgos, contornos. Desbaste, acabamento	Pequenos rebaixos, contorno. Acabamento	Material com alta dureza. Pequenos rebaixos, contornos.

As fresas de topo em metal duro utilizadas na secção de maquinagem aquando desta análise eram fresas exclusivamente de 4 lâminas de corte (como as ilustradas nas Figura 30, Figura 31 e Figura 32), serviam um pouco para tudo: realizavam operações de desbaste, acabamento, abertura de rasgos, entre outras operações, o que não está correto como é possível comprovar pela Tabela 3

Consultando o catálogo do fabricante constatou-se o que era óbvio: o tipo de fresas utilizadas são fresas de acabamento, que apenas permitem uma largura de corte de 0.1 vezes o diâmetro da fresa e uma profundidade de corte igual ao diâmetro. Assim sendo, esta será uma das principais causas para o desgaste prematuro das ferramentas.

Após esta confirmação foram tomadas medidas para que fossem utilizadas as ferramentas adequadas a cada operação. Começaram a ser utilizadas fresas de duas lâminas para abrir canais, fresas de desbaste, para as operações de desbaste e mantiveram-se as anteriormente usadas para as operações de acabamento.

Com esta pequena alteração verificou-se uma diminuição significativa no desgaste das ferramentas.

5.1.2.4 Estratégias de maquinagem

Uma má escolha das estratégias de maquinagem pode também diminuir a vida das ferramentas de forma drástica. Por isso, deve-se ter muita atenção quando se está a programar, pois uma má decisão pode fazer com que as ferramentas sofram um desgaste excessivo.

No início deste trabalho as estratégias de maquinagem adoptadas como corretas pelos programadores, por vezes conduziam a que as ferramentas fossem sujeitas as esforços elevados e por consequência, submetidas a maior desgaste.

Um caso onde isto era notório, por exemplo, era quando se pretendia iniciar o processo de maquinagem e a fresa era programada para entrar na peça em linha recta (Figura 39), o que produz limalhas espessas na saída do corte, até que a aresta tenha penetrado totalmente, diminuindo a vida da ferramenta, especialmente quando se está a maquinar aços duros e ligas resistentes ao calor [6].

Este problema pode ser resolvido de duas formas: reduzindo a velocidade de avanço para 50% até que a fresa tenha entrado totalmente, ou entrandro com trajectória em hélice (Figura 40). A entrada em hélice deve ser sempre feita no sentido horário e nunca em sentido anti-horário, pois senão o problema das limalhas espessas mantém-se [6].

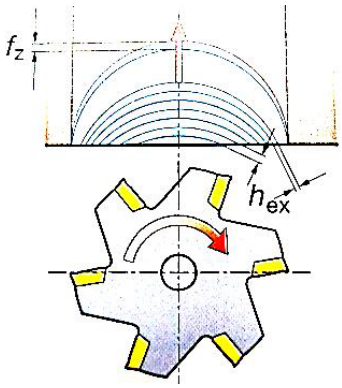


Figura 39: Entrada em linha recta [6]

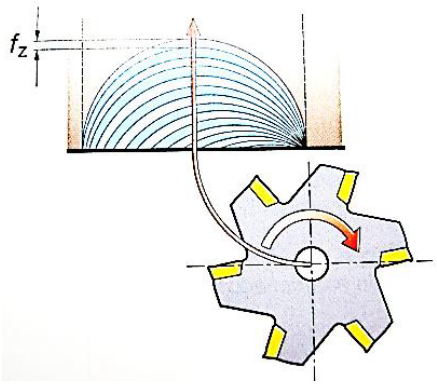


Figura 40: Entrada em hélice [6]

As mudanças bruscas de direcção eram outra das situações que ocorriam muito, provocando os mesmos problemas que a entrada em linha recta na peça. No facejamento (Figura 41) e no

contorno exterior (Figura 42) era muito comum que a ferramenta quando se alterava o sentido de corte, tal se fizesse de forma brusca, em vez de o fazer de uma forma suave (através de um arco), como ilustrado nas Figura 41 e Figura 42.

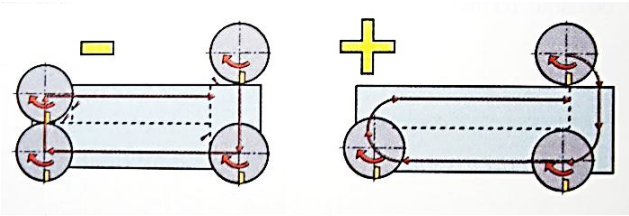


Figura 41: Operação de facejamento incorrecta e correta [6]

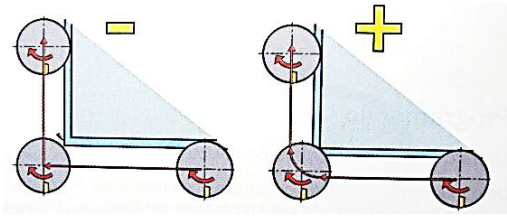


Figura 42: Contorno exterior incorrecto e correto [6]

A fresagem de cantos interiores com ferramenta de raio igual (Figura 43) era outra das estratégias de maquinagem muito comuns. Este tipo de maquinagem impõe algumas considerações pois [6]:

- Ao avançar a fresa nos cantos interiores, o arco de contacto radial aumenta e a exigência para a aresta de corte é ainda maior.
- Geralmente, o processo torna-se instável, criando vibrações
- As forças de corte instáveis criam marcas.
- Há também o risco de microlascagem ou quebra total da aresta da ferramenta.

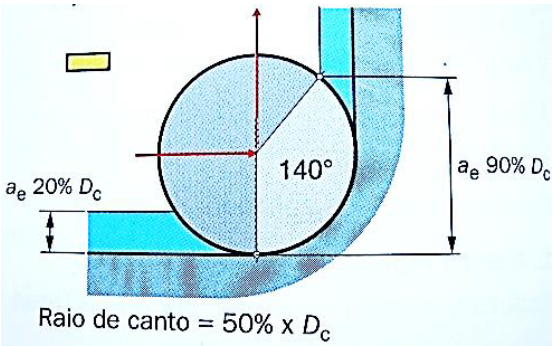


Figura 43: Fresagem de canto interior [6]

A solução para evitar estes problemas é utilizar uma ferramenta de raio maior (Figura 44), em que se faz uma fresagem com um raio de contacto maior do que o indicado no desenho, e,

alternadamente, usar-se uma fresa de raio menor ou igual ao do canto (Figura 45) para fazer o raio desejado.

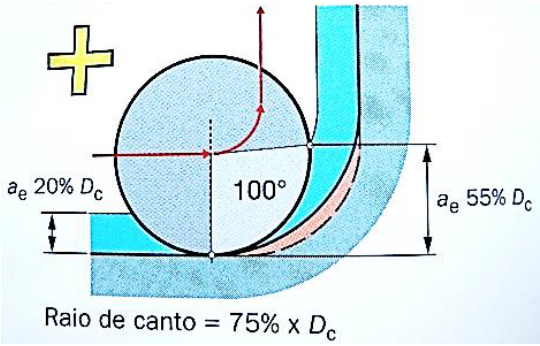


Figura 44: Ferramenta de raio maior que o canto [6]

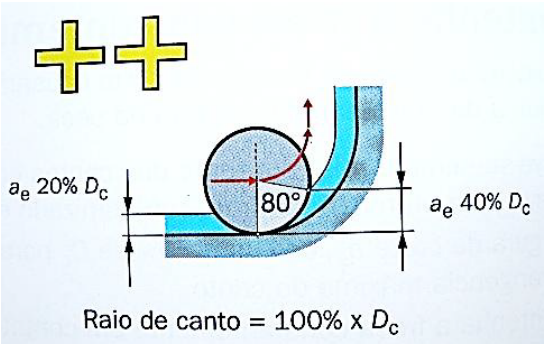


Figura 45: Ferramenta de raio igual ao canto [9]

Estas estratégias de maquinagem começaram a ser utilizadas, após o início da implementação do CAM que será abordada na secção 5.4.1.

5.2 Sistemas de fixação

Os principais sistemas de fixação utilizados nos centros de maquinagem são prensas manuais como a ilustrada na Figura 46. Estas prensas necessitam de calços ou gabaris, para que seja possível realizar o aperto das peças a maquinar e para que estas não sejam danificadas quando se está a proceder a operações de maquinagem.

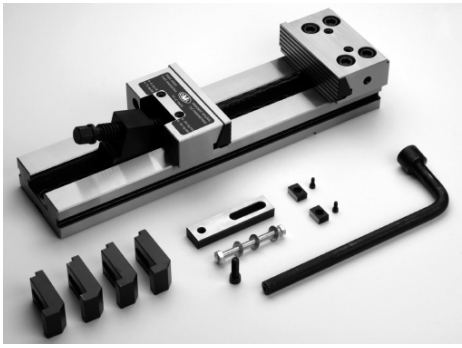


Figura 46: Prensa manual monobloco de fixação [39]

Os calços e os gabaris necessários para a utilização das prensas eram uma dor de cabeça, pois encontravam-se desorganizados e espalhados ao longo de uma prateleira, como se observa na Figura 47, e quando se pretendia encontrar o par de calços ou o gabari para produzir uma peça específica, era bastante complicado e moroso.

Figura 47: Calços e gabaris desorganizados (autor)

Assim sendo, era necessário encontrar uma solução para este problema. A solução passou por desenvolver um sistema que permitiu dividir a prateleira em várias secções, onde foram agrupados os calços e gabaris por medidas e tipos, e foi colada uma etiqueta com as especificações (Figura 48).

Figura 48: Calços e gabaris organizados (autor)

Esta solução permitiu que a preparação dos equipamentos fosse mais rápida, mas após algum tempo verificou-se que apresentava algumas falhas, nomeadamente a falta de indicações, nos calços e gabaris, da posição que deviam ocupar na estante, o que levava a que quando se pretendia verificar se a posição estava correta, fosse necessário medir um por um.

5.2.1 Alternativas aos sistemas de fixação já existentes

Como foi descrito na secção anterior, os sistemas de fixação utilizados na oficina são prensas manuais de um bloco e prensas magnéticas. As prensas magnéticas têm as suas vantagens e desvantagens, são uma boa opção quando se está a trabalhar materiais ferrosos e se tem uma

boa área de contacto com a prensa, mas não têm qualquer utilidade quando os materiais não o são ferrosos. Já as prensas manuais monobloco (Figura 46) deste tipo estão um pouco ultrapassadas, para quem quer diminuir os tempos de produção, mas em contrapartida os seus custos são relativamente baixos.

Uma solução para diminuir os tempos de preparação e produção dos equipamentos é utilizar prensas onde existem mais que um bloco de aperto (Figura 24). Desta forma não é necessário calibrar tantas prensas para produzir a mesma quantidade de peças, podendo mesmo a área de trabalho ser melhor aproveitada.

Outra solução para optimizar a produção é utilizar sistemas que permitem trocar as prensas por mesas magnéticas, ou por outros num curto espaço de tempo sem ser necessário realizar a calibração. Estes são denominados sistemas automáticos de posicionamento (Figura 49)

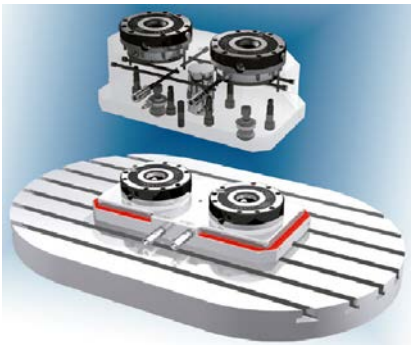


Figura 49: Sistemas automáticos de posicionamento [40]

O princípio de funcionamento deste sistema é muito simples: existe um mecanismo que é fixado a mesa do centro de maquinagem que, por acção de ar comprimido, prende uns pernos, que podem estar conectados a outro dispositivo. Com este sistema poupa-se muito tempo de preparação dos equipamentos para produção.

5.3 Reposição, alocação e gestão das informações das ferramentas

A reposição, alocação e gestão das informações das ferramentas, são dos aspectos mais importantes a ser abordados quando se pretende diminuir as perturbações no processo de produtivo, maximizar a utilização de máquinas e ferramentas e diminuir o número de peças defeituosas, como descrito na secção 2.2.

5.3.1 Reposição das ferramentas

A reposição de ferramentas de corte, necessária a produção de um novo lote de peças é ainda hoje função do operador, este tem de apertar as ferramentas nos cones ou ferros de corte e medir as suas alturas e diâmetros, enquanto a máquina se encontra suspensa.

Este método de trabalho vai contra as políticas de competitividade a que os mercados actualmente estão sujeitos, pois se cada operador prepara as suas ferramentas, vão ser sempre incorporados distúrbios na produção e será diminuído o tempo de funcionamento dos equipamentos.

A solução para este problema passa por criar um sistema em que exista um técnico responsável por preparar e recolher as ferramentas, sem ser necessário ao operador da máquina interromper o processo de fabrico, por mais tempo do que o estritamente necessário. Na Figura 50 é possível observar as diferenças entre o método tradicional e a alteração do conceito para a preparação exterior.

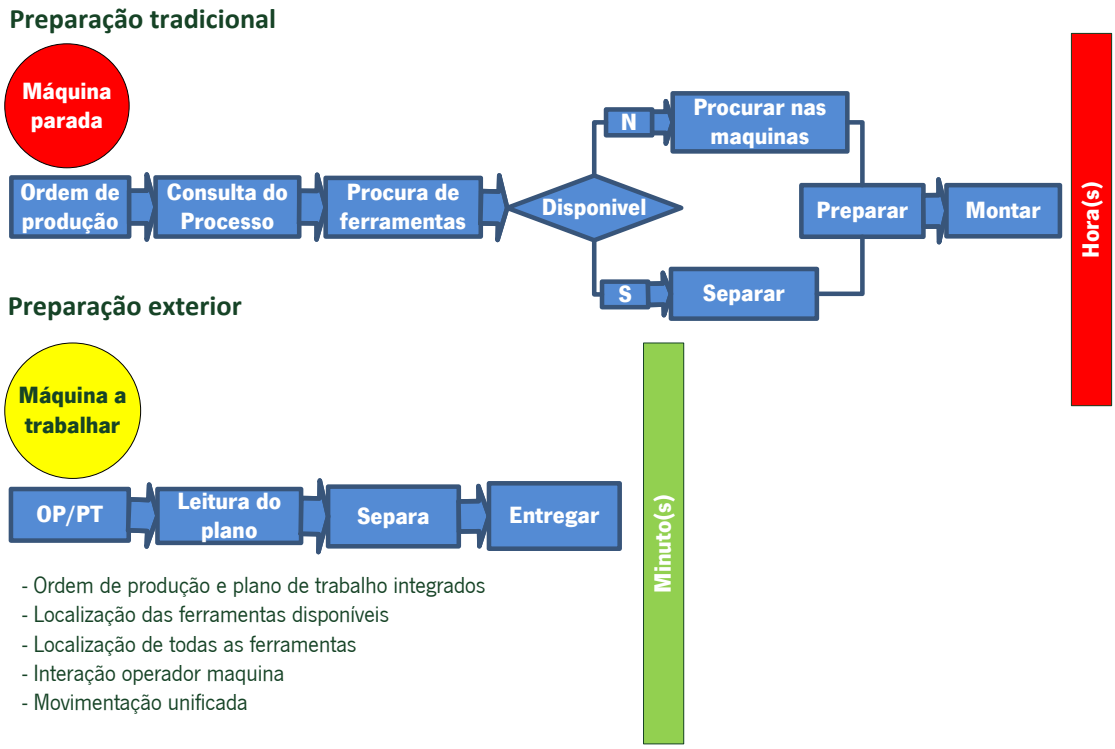
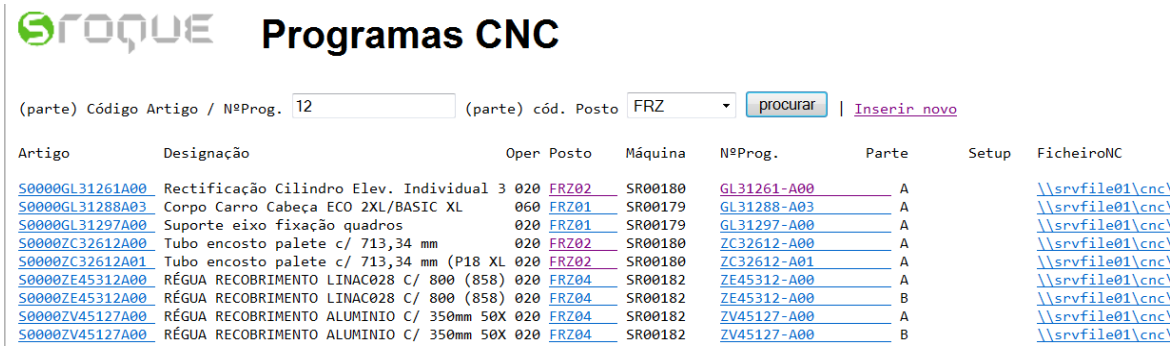


Figura 50: Preparação tradicional vs. exterior (adaptado de [41])

A criação deste cargo não é difícil, pois actualmente está implementado um sistema informático de gestão da produção, em que é apresentada a ordem de produção e em que o equipamento

vai ser produzido, e quando. Foi ainda desenvolvido um programa ao longo desta dissertação que permite aos operadores dos equipamentos seleccionar o programa NC correspondente de forma expedita, onde constam as ferramentas necessárias à produção, e que pode ser aproveitado pelo encarregado da preparação das ferramentas.

O funcionamento do programa é simples: existe na intranet da empresa uma página electrónica (Figura 51) em que constam os campos "código de artigo"[9] e "posto". Aí é possível digitar o código de artigo e seleccionar o posto (FRZ – Fresadoras, TRN – Tornos), informações estas que constam nas fichas que acompanham os lotes das peças.



Programas CNC

(parte) Código Artigo / NºProg. 12 (parte) cód. Posto FRZ procurar | Inserir novo

Artigo	Designação	Oper	Posto	Máquina	NºProg.	Parte	Setup	FicheiroNC
S0000GL31261A00	Rectificação Cilindro Elev. Individual 3	020	FRZ02	SR00180	GL31261-A00	A		\\srvfile01\cnc\
S0000GL31288A03	Corpo Carro Cabeça ECO 2XL/BASIC XL	060	FRZ01	SR00179	GL31288-A03	A		\\srvfile01\cnc\
S0000GL31297A00	Suporte eixo fixação quadros	020	FRZ01	SR00179	GL31297-A00	A		\\srvfile01\cnc\
S0000ZC32612A00	Tubo encosto palete c/ 713,34 mm	020	FRZ02	SR00180	ZC32612-A00	A		\\srvfile01\cnc\
S0000ZC32612A01	Tubo encosto palete c/ 713,34 mm (P18 XL	020	FRZ02	SR00180	ZC32612-A01	A		\\srvfile01\cnc\
S0000ZE45312A00	RÉGUA RECOBRIMENTO LINAC028 C/ 800 (858)	020	FRZ04	SR00182	ZE45312-A00	A		\\srvfile01\cnc\
S0000ZE45312A00	RÉGUA RECOBRIMENTO LINAC028 C/ 800 (858)	020	FRZ04	SR00182	ZE45312-A00	B		\\srvfile01\cnc\
S0000ZV45127A00	RÉGUA RECOBRIMENTO ALUMINIO C/ 350mm 50X	020	FRZ04	SR00182	ZV45127-A00	A		\\srvfile01\cnc\
S0000ZV45127A00	RÉGUA RECOBRIMENTO ALUMINIO C/ 350mm 50X	020	FRZ04	SR00182	ZV45127-A00	B		\\srvfile01\cnc\

Figura 51: Página de selecção (autor)

Uma vez os campos preenchidos, o sistema faz uma procura na base de dados que foi criada e apresenta uma nova página como a ilustrada na Figura 52, onde constam dados como o equipamento que vai ser produzido, o lote, quais as ferramentas a utilizar e a sua posição, o zero peça, a quantidade de material removido por ferramenta, entre outras informações.

[9] Código de artigo – Código atribuído que tem como função identificar as peças produzidas.

Figura 52: Página web com informações (autor)

Existe ainda um caminho que permite abrir o programa NC directamente num *software* DNC utilizado, sem nenhuma dificuldade.

Além da criação deste posto de almoxarife é necessário criar condições físicas para uma boa identificação e condicionamento das ferramentas, para que seja fácil e cómodo aos operadores dos equipamentos identificar, encontrar e trocar as ferramentas. Estas soluções podem passar pelas apresentadas na secção 2.3.

Podem ser criados sistemas de controlo visual das ferramentas como o representado na Figura 2, que permitem através da percepção visual, detectar se a ferramenta está no local correto, ou como os das Figura 3 e Figura 4, que permitem que o operador, através de um sistema de cores, saiba quais as ferramentas que foram utilizadas sem nenhum problema.

A determinação das dimensões das ferramentas é outra das áreas onde se pode intervir. Pode passar a ser feita por pré-ajustamento externo, em vez do ajuste interno realizado actualmente. Com este método o almoxarife regista os valores das alturas e diâmetro da ferramenta numa folha de preparação (Anexo C) que acompanha as ferramentas. Esta alteração de procedimento não acarreta qualquer custo acrescido, pois já existe um equipamento de calibração externa.

Outra medida a ser tomada, com vista a interferir ao mínimo com a produção, é definir ferramentas padrão, que ocupem posições conhecidas na torreta dos centros de maquinagem e que só são retiradas quando estão desgastadas ou quando é necessário o espaço que estas

ocupam. Esta medida é uma boa solução para o tipo de trabalho realizado na S. Roque, pois a quantidade de ferramentas utilizadas por lote é quase sempre inferior à capacidade do armazém da máquina e existem muitas ferramentas que são comuns às várias peças produzidas (como por exemplo fresas de topo 12 e 10 mm, brocas 4.5 e 5.3 mm)

5.3.2 Alocação das ferramentas

Uma das etapas fundamentais para uma boa gestão da oficina numa empresa consiste em, definir uma boa organização física das ferramentas, para que exista uma boa identificação e condicionamento destas, para que sejam facilmente encontradas e para que seja fácil gerir o *stock* de ferramentas.

As ferramentas de corte actualmente encontram-se um pouco desorganizadas, como é possível observar-se na Figura 53, devido sobretudo ao facto de a preparação das ferramentas ser feita pelos vários funcionários, o que fomenta a desorganização. Para além disso, constata-se que não existe um lugar específico para o seu acondicionamento ou uma pessoa responsável por as manter organizadas.

Figura 53: Locais onde podem ser encontradas ferramentas (autor)

Assim, uma das soluções para esta situação poderia passar por implementar um processo de reposição de ferramentas, como foi mencionado na secção 5.3.1, e criar uma ferramentaria cujas condições para a organização sejam mais favoráveis, como por exemplo a utilização de armários para armazenamento de pastilhas (Figura 54), ferramentas e montagens (Figura 55).

Figura 54: Armário para armazenar pastilhas [42]

Figura 55: Armário para armazenar montagens [43]

Outra solução passaria por implementar um sistema de armazenamento automático como o descrito na secção 2.3.2, que apresenta inúmeras vantagens, como permitir visualizar informações sobre todas a transacções realizadas a qualquer momento e lugar, bastando para isso que se tenha Internet. Permite obter relatórios sobre o consumo das ferramentas de forma automática e permite a possibilidade do fornecedor de ferramentas verificar o nível de *stock* , entre outras funcionalidades.

Um dos aspectos que seria melhorado com a aplicação destas soluções e que presentemente é um pouco descuidado, é o afiamento das ferramentas, pois não existe qualquer tipo de inspecção aquando da sua recepção, nem é feita a separação entre as ferramentas afiadas e as ferramentas novas. Assim, quando o operador vai preparar as ferramentas se não estiver atento pode preparar uma ferramenta afiada para uma operação que necessite de uma nova.

5.3.3 Gestão das informações das ferramentas

A gestão das informações das ferramentas é fundamental para manter o bom funcionamento de uma oficina. Sem uma boa gestão não é possível manter o registo actualizado do *stock*, reunir as informações sobre o consumo e a vida das ferramentas, nem é possível analisar a situação e tomar decisões com base nos factos.

Actualmente os únicos registos que existem sobre as ferramentas de corte na S. Roque são os de compras, ou seja o tipo e a quantidade que foi adquirida num dado mês. Desta forma é impossível analisar qual foi o desempenho que as ferramentas actualmente apresentam e qual é o *stock* exacto existente.

Assim sendo, é necessário tomar medidas para que este problema seja suprimido e para que as decisões tomadas não sejam um "tiro no escuro", mas sim devidamente fundamentadas. Existem duas soluções possíveis: uma passaria por adquirir um dos sistemas disponíveis no mercado como o MATRIX[10] da ISCAR (Figura 5) que faz esta gestão; outra será criar um sistema de controlo e gestão internamente.

Tanto um como outro apresentam prós e contras: o sistema da ISCAR tem a vantagem de já estar implementado, mas em contrapartida apresenta um custo bastante elevado (20000 € apenas um módulo igual ao da Figura 5); o sistema a desenvolver, levará maior tempo a ser implementado, pois necessita de ser desenvolvido e testado, mas tem a vantagem de o custo poder vir a ser mais baixo e ser desenvolvido à medida das necessidades.

O sistema a ser desenvolvido tem de ter a capacidade de responder às necessidades especificadas na secção 2.3.2. Para isso, primeiramente, tem de permitir identificar as ferramentas, o que pode ser feito por um código de barras diferente a ser atribuído a cada ferramenta, aquando da sua recepção no armazém central, e será colada uma etiqueta na respectiva caixa da ferramenta. Após este código ser atribuído, as ferramentas serão rastreadas apenas através do código de barras atribuído.

Com a forma de identificação indicada, é necessário definir a forma como se são armazenadas as ferramentas: esta pode continuar a ser feita nos armários azuis da Figura 53, mas agora com uma pequena diferença. Serão dispostas como um "tabuleiro de xadrez", em que cada compartimento será identificado segundo a combinação de números com letras (exemplo 18B); assim, já é possível determinar a posição da ferramenta sem nenhum problema, até que seja descartada. Este método será utilizado da mesma forma para os armários de montagens (Figura 55).

O *software* a desenvolver terá de ser capaz de associar o código de barras da ferramenta, a posição que esta ocupa, pois este tem de ser capaz de indicar a qualquer instante a posição de todas as ferramentas. Esta associatividade é conseguida, sempre que exista um movimento da ferramenta, e este tiver de ser indicado através do leitor de código de barras e da indicação do tipo de movimento (preparação da ferramentas, descarte, montagem, máquina, afiar, etc).

[10] MATRIX - Armazém automático de ferramentas comercializado pela empresa ISCAR.

Outra funcionalidade muito importante que este *software* terá de possuir é a de controlar a vida da ferramenta. Este controlo é feito através da quantidade de material removido que cada ferramenta é capaz de remover. Para determinar esse valor, este *software* terá de ser capaz de associar a ferramenta à peça que vai ser produzida, aos dados que são provenientes do CAM, que indicam o volume de material removido por ferramenta, o material da peça, que estão presentes no *software* desenvolvido apresentado na secção 5.3.1. Para que tudo isto funcione na perfeição é necessário que o preparador das ferramentas indique qual é a ferramenta que corresponde ao T1, T2, T3..., no programa NC.

Se tudo correr bem, com pouco dinheiro é possível obter relatórios detalhados sobre a movimentação das ferramentas e a sua vida útil, que permitam tomar as decisões de forma a melhorar esta secção.

5.4 Programação

Com a chegada da tecnologia CNC a relação entre homem/máquina alterou-se definitivamente. Aquele viu-se confrontado com uma máquina com imenso potencial, tendo deixado de ter controlo directo nas movimentações e deslocamentos realizados durante as operações de maquinagem, para passar a ter funções completamente distintas, nomeadamente as de as fornecer antecipadamente o código máquina. Foi assim que surgiu uma nova tarefa a que se designa por programação.

A programação pode ser descrita como um processo de trabalho no qual uma pessoa ou um computador prepara para o controlador do equipamento CNC todos os recursos necessários, para que este possa controlar todas as suas funções com o objectivo de produzir de forma autónoma as operações que vão dar origem à peça maquinada.

A programação pode ser dividida em dois métodos distintos que podem ser utilizados conforme o conhecimento do utilizador ou consoante a complexidade do programa-peça.

A programação manual é um dos métodos. Nesta, o programa é elaborado manualmente, através da utilização de métodos e cálculos realizados pelo programador. Neste tipo de programação o conhecimento do tipo de controlador e da linguagem por ele aceite é fundamental para que não existam erros de programação, assim como a interpretação do

desenho para determinar os extremos de todos os segmentos, os arcos de circunferência e as coordenadas dos centros.

Este tipo de técnica de programação é ainda hoje muito utilizada nas empresas em que as peças a maquinar não são de grande complexidade geométrica, pois este método apenas pode ser utilizado para a maquinagem 2D e $2^1/_2$D[11]. Além de não ser muito produtivo, pois perde-se muito tempo a calcular as trajectórias das ferramentas, existe maior probabilidade de ocorrerem erros de programação.

A programação automática é o outro método utilizado. Neste, os cálculos necessários à programação, são realizados recorrendo a um computador e a um *software* dedicado que produz o programa peça. Actualmente, este método é designado sistema de programação CAM, e apresenta inúmeras vantagens quando comparado com o sistema de programação manual, nomeadamente em termos do aumento da produtividade, da possibilidade de maquinar a 2D, $2^1/_2$D, e 3D, e da diminuição dos erros de programação.

Actualmente a programação efectuada na S. Roque - Máquinas e Tecnologia Laser S.A é realizada através de um *software* CAM (CAMWorks), mas nem sempre foi assim. No início desta dissertação, esta era ainda realizada manualmente.

Esta alteração de método foi a principal justificação para que esta dissertação tenha sido desenvolvida em ambiente industrial, pois a empresa já há algum tempo que pensava em dar um salto tecnológico deste tipo, mas por diversas razões foi sempre sendo adiado, como é notório no exemplo seguinte: o *software* CAM utilizado no início deste trabalho foi adquirido em fins de 2008 e só passados mais de 3 anos está a ser implementado.

Para a empresa o principal objectivo desta dissertação é que sejam criadas as condições para a implementação da programação assistida por computador.

5.4.1 Estratégias de maquinagem

O primeiro passo para a implementação deste novo método é conhecer muito bem toda a tecnologia de maquinagem existente e as restrições físicas dos equipamentos para que estas

[11] Maquinagem $2^1/_2$D – São todas as operações de maquinagem nas quias existe um contorno que é definido por dois eixos e à medida que se vai dando as passagens ou incremento, segundo um terceiro eixo, o contorno vai variando em função de uma constante ou de uma função geométrica programada para o incremento,

possam ser tidas em conta, quando se está a programar com o auxílio do computador, e os métodos de trabalho.

O passo seguinte é conhecer e dominar as várias estratégias de maquinagem que os *softwares* CAM disponibilizam, e que algumas vezes não estão disponíveis nos controladores dos equipamentos.

As estratégias de maquinagem podem ser divididas em quatro grupos, sendo eles o desbaste, re-desbaste, semi-acabamento e o acabamento.

O desbaste é uma operação que tem como função remover a maior quantidade de material no menor espaço de tempo possível. Neste tipo de operação é costume serem empregues fresas de topo ou toroidais, cuja passagem de corte é de aproximadamente 75-80% do diâmetro da ferramenta [6]. Aqui, é sempre deixada uma sobre espessura de material com o objectivo de proteger a peça, pois o acabamento obtido é fraco.

Existem diversas estratégias de desbaste:

- Desbaste plano (Figura 56): É uma estratégia em que a fresa faz passagens com uma largura especificada e com um incremento fixo em Z que acontecem apenas quando cada camada estiver completamente removida. Estes incrementos são designados por "stepover" e "stepdown" na grande maioria dos *softwares* e dependem essencialmente do material e do tipo de ferramenta.
- Desbaste adaptativo (Figura 57): Esta forma de desbaste consiste em remover o material camada a camada, por planos, mas além disso permite adaptar-se a geometrias que são seleccionadas com um incremento que pode ser especificado.

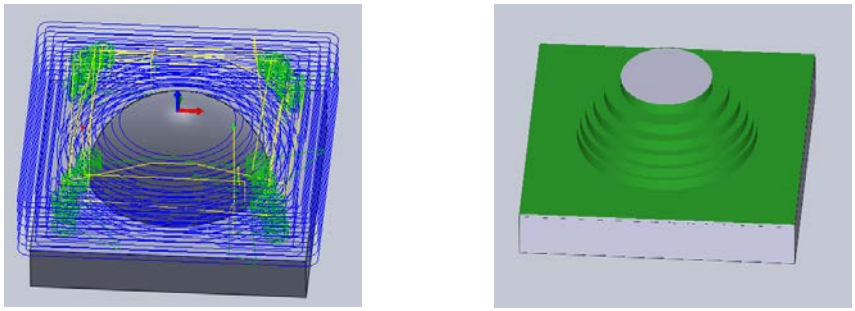


Figura 56: Desbaste por planos (autor)

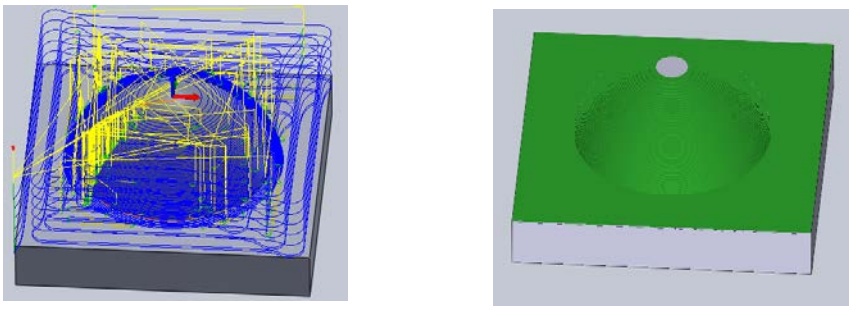


Figura 57: Debaste adaptativo (autor)

O re-desbaste é uma técnica muito utilizada após o desbaste, que consiste em utilizar uma fresa de diâmetro inferior ao utilizado no debaste para maquinar as zonas que não estavam acessíveis à fresa que realizou o desbaste devido à sua dimensão. Esta operação baseia-se na operação de desbaste pois a fresa apenas vai maquinar as zonas onde existe excesso de material, evitando assim passagens já realizadas, o que diminui significativamente o tempo de maquinagem, conservando uma sobre espessura de maquinagem.

Esta técnica é importante porque diminui a carga a que é submetida a ferramenta de semi-acabamento ou acabamento, o que proporciona uma taxa de remoção mais uniforme e aumenta a vida da ferramenta.

O semi-acabamento é outra estratégia que consiste em realizar um acabamento onde se mantem uma sobre espessura com a finalidade de permitir que no acabamento se obtenha uma superfície com uma rugosidade superficial menor ou quando há o risco de a fresa partir devido à sua reduzida dimensão, quando se passa directamente para o acabamento.

O acabamento tem a função de remover a sobre espessura de material que é deixada pelas outras estratégias. Para o efeito, existem diversas estratégias:

- Projecção de um padrão (Radial, Espiral, Entre Curvas e Flow): Todas estas estratégias consistem na projecção de um padrão (espirais, linhas radiais, curvas), ao longo do eixo de Z, com a configuração da geometria pretendida.
- Acabamento 3D Plano: Neste tipo de acabamento é definido o passo lateral da ferramenta relativamente à superfície 3D, o que é muito bom quando a peça possui zonas planas. Porém esta estratégia apresenta algumas falhas quando existem zonas inclinadas acima dos 30°, em que não é possível utilizar esta estratégia.

- Acabamento 3D por Contorno: A maquinagem em acabamento 3D por Contorno consiste numa maquinagem em que é definido o passo em Z da ferramenta e esta vai se adaptando à geometria da peça, como no desbaste adaptativo.
- Acabamento de cantos (redução de raios e Scallop): As estratégias de acabamento de cantos têm como função diminuir a quantidade de material deixado nos cantos, assim como o re-desbaste.

5.4.2 Implementação da programação assistida por computador

Após serem conhecidos os métodos de trabalho, a tecnologia de maquinagem da empresa e as estratégias de maquinagem mais usuais na programação assistida por computador, o próximo passo é explorar as funcionalidades do CAM com vista à sua implementação.

Estas só podem ser exploradas verdadeiramente, se os programas peça produzidos pelo *software* forem aplicados na prática, pois "virtualmente" tudo é possível, mas na prática não é bem assim; existem pequenos ajustes que têm de ser realizados, assim como o estabelecimento de procedimentos.

5.4.3 Resolução de problemas com vista à implementação

Um dos primeiros problemas detectados quando se iniciou a maquinagem com os programas peça criados em CAM, consistia em que todas as operações de maquinagem eram realizadas acima da cota pretendida 25.4 mm. Este problema devia-se a um erro de programação no pós-processador utilizado pelo CAM, que somava ao eixo Z do zero peça 25.4 mm. Para resolver este problema foi necessário corrigir esse erro no pós-processador; existia um sistema de coordenadas locais que foi removido (Figura 59).

```
%
O0001
N5 G00 G17 G21 G40 G49 G54 G80 G90 G98
N10 G53 Z0
N15 G52 Z25.4   Sistema de coordenadas local
N20 G00 X25.4 Y25.4
N25 T1 M06 (Broca 12.MM)
N30 S2000 M03
N35 G90 G00 X-80. Y0 M08
N40 G43 Z1. H1
N45 G83 G99 R1. Z-15.602 Q6. F200.
N50 X-60.
N55 X-40.
N60 X-20.
N65 X0
N70 G80 Z5. M09
N75 G49 G53 Z0
N80 G53 Y0
N85 M30
```

Figura 58: Antes da alteração do pós-processador (autor)

```
%
O0001
N5 G00 G17 G21 G40 G49 G54 G80 G90 G98
N10 G53 Z0
N15 G00 X25.4 Y25.4
N20 T1 M06 (Broca 12.MM )
N25 S2000 M03
N30 G90 G00 X-80. Y0 M08
N35 G43 Z1. H1
N40 G83 G99 R1. Z-15.6 Q6. F200.
N45 X-60.
N50 X-40.
N55 X-20.
N60 X0
N65 G80 Z5. M09
N70 G49 G53 Z0
N75 G53 Y0
N80 M30
%
```

Figura 59: Após a alteração do pós-processador (autor)

Este não era o único erro existente no pós-processador. Também não colocava o símbolo de percentagem no fim do programa, como é possível observar no antes (Figura 58) e após (Figura 59) a alteração do pós-processador. Esta falta do caracter % no fim do programa era suficiente para que sempre que se tentasse transmitir o programa peça para o equipamento houvesse um erro de transmissão o que ao início foi um problema pois o erro foi difícil de detectar.

Para além destas falhas, ainda apresentava outra que era não possibilitar alterar o número do programa de forma automática pois a opção que permitia que o pós-processador fosse buscar essa informação ao *software* CAM não estava implementada. Este erro era muito inconveniente, pois sempre que se guardava o programa, era necessário alterar o cabeçalho para o número que correspondesse à codificação interna da peça para a empresa (exemplo: O0001 para O52746).

Este conjunto de problemas era facilmente resolvido se o *software* CAM ainda possuísse apoio técnico por parte do revendedor, mas como foi mencionado na secção 5.4, como já tinha sido adquirido há mais de 3 anos, esse tempo de apoio já se tinha esgotado. Assim sendo, foi necessário estudar e pesquisar a estrutura e o funcionamento do pós-processador para que fosse possível realizar as alterações necessárias.

Outro dos problemas para a implementação CAM era a questão da versão pois o sistema CAD/CAM utilizado possui o mesmo modelador geométrico e a transferência entre os sistemas efectua-se de forma directa, ou seja, o modelo geométrico criado no sistema CAD é transferido para o CAM, sem a ajuda de interfaces de transferência. Era uma grande desvantagem neste

caso, pois o *CAMWorks* 2009[12] (software CAM utilizado), apenas permite ser corrido sobre o *SolidWorks* 2009 ou versões anteriores, e a empresa já usa uma versão de CAD mais avançada.

Era um grande transtorno, pois sempre que era recebida uma ordem para produzir um novo programa peça, não se podia simplesmente aceder ao PDM (Product Data Management) e abrir o ficheiro em questão. Antes, era necessário converter o ficheiro do *SolidWorks* (com a extensão SLDPRT[13]), disponível no PDM, num ficheiro STEP para que este pudesse ser aberto na versão do *SolidWorks* onde corre o CAM.

Esta conversão retirava uma das grandes potencialidades deste CAM que é reconhecer as geometrias e aplicar as respectivas operações de forma automática (ver no Anexo E como funciona), o que aumentava bastante o tempo de programação. Actualmente este problema foi ultrapassado com a aquisição de um novo *software* CAM (HSMWorks).

5.4.4 Optimização do tempo de produção de um programa peça

No Anexo E foram apresentados os procedimentos para a criação de um programa peça utilizando o *CAMWorks*, mas nessa exposição não estão contemplados os procedimentos que devem ser realizados para reduzir o tempo de produção de um programa peça NC, nomeadamente a criação de bases de dados das ferramentas para cada conjunto de materiais e a base de dados tecnológicos.

A criação das bases de dados das ferramentas é um dos factores fundamentais para que se consiga reduzir o tempo de produção de um programa peça, pois desta constam todas as ferramentas que existem na oficina, os parâmetros de corte que estas devem ter para os vários tipos de estratégias de maquinagem e materiais.

Assim sendo se estas forem criadas correctamente o *CAMWorks* permite que estas sejam seleccionadas antes de serem geradas as operações de maquinagem tanto no modo de AFR[14] (*Automatic Feature Recognition)* ou IFR[15] (*Inretactivel Feature Recognition*), permitindo assim desta forma que não seja necessário ajustar todas as velocidades de avanço e rotação para cada operação.

[12] *CAMWorks 2009 - Software* devidamente licenciado.
[13] SLDPRT - Extensão de uma peça desenhada em *Soldworks*.
[14] AFR - Reconhecimento automático da geometria da peça.
[15] IFR – Reconhecimento com recurso a selecção da geometria por parte do operador.

Com vista à diminuição do tempo de produção dos programas, estas bases de dados foram criadas ao longo do trabalho na empresa, como pode ser observado na janela de selecção do *CAMWorks* (Figura 60), com base nos documentos descritos na secção 5.1.2.2 e ilustrados na Figura 37.

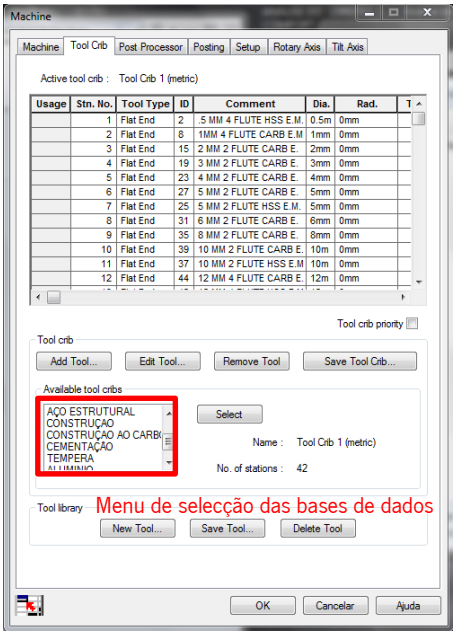


Figura 60: Janela de selecção das bases de dados das ferramentas (autor)

A base de dados tecnológicos é uma das outras bases de dados que, quando correctamente criada, permite diminuir o tempo que leva a criar um programa peça. É nesta base de dados que estão armazenadas o tipo de estratégia e os processos de maquinagem que devem ser utilizados quando uma geometria na peça é detectada.

As modificações realizadas nesta base de dados não foram muitas. As mais significativas são por exemplo: para realizar um furo foi retirada a necessidade de utilizar uma broca de ponto; quando um furo tem diâmetro superior a 30 mm, deve ser feita uma pré-furação usando uma broca de 30 mm e o resto será feito recorrendo a alargadores.

5.4.5 Procedimentos

Antes de se iniciar a programação, manual ou automática, é necessário estabelecer sempre procedimentos com vista ao desenvolvimento de um programa peça o mais optimizado possível, onde estão salvaguardados os requisitos da peça para que esta seja produzida no menor tempo possível.

Assim sendo, é necessário realizar uma análise preliminar e elaborar um plano de trabalho com vista à sua produção.

5.4.5.1 Análise preliminar

Deve ser sempre feita uma análise preliminar à preparação de trabalho com o objectivo de reduzir o preço dos produtos produzidos agindo sobre:

- A produção da máquina, e a consequente diminuição dos seus tempos de paragem para troca de ferramentas, operações de verificação, falta de informações sobre o aperto.
- As dimensões das peças em bruto, os materiais utilizados;
- O modo de obtenção das peças para estabelecer o melhor processo de maquinagem em função das condições iniciais, considerando tratar-se de uma peça fundida, em construção soldada ou cortada a laser;
- Redução dos tempos essenciais para a produção por intermédio da selecção da máquina mais adequada ao trabalho a realizar.

Para a preparação do trabalho é necessário:

- Definir antecipadamente e de forma correta a sequência de operações, para que seja estabelecido um processo de maquinagem acertado;
- Seleccionar o equipamento e as ferramentas a utilizar em função da propriedade das peças e dos custos;
- Fazer que o operador tenha em sua posse a informação relativa ao método de trabalho que antecipadamente foi estabelecido

5.4.5.2 Elaboração do plano de trabalho

Após serem recebidos os desenhos 3D ou 2D por parte do programador o passo seguinte é realizar um estudo e uma análise prévia, que terá como objectivo o conhecimento completo do trabalho a realizar, para que depois se possam criar os planos de trabalho e tomar as decisões que possibilitem a criação do programa peça.

Para a análise inicial deverão ser considerados os seguintes elementos:

- Tipo de peça a ser executada em torno ou fresadora

- Rigidez da peça para a sua fixação e maquinagem;
- Características do material e definição das condições de corte;
- Superfícies maquinadas, a maquinar e pontos de referência;
- Sobre espessuras
- Material em bruto; se se trata de uma peça fundida, de corte a laser entre outras.
- Toleranciamento dimensional e geométrico exigido;
- Qualidade do acabamento superficial exigido;
- Informações sobre a quantidade total de peças a fabricar, cadências e prazos.

Uma vez analisados estes pontos, o programador está apto a elaborar o programa peça.

6 Conclusão e sugestões de trabalho

A necessidade da utilização de procedimentos para fabrico de componentes por CNC é transversal a todas as empresas industriais que actuam nesta área. O benefício da existência de procedimentos pode reflectir-se no desempenho da produção, assim como nos custos. Contudo, estes nem sempre são empregues pela totalidade das empresas. Neste âmbito, o presente trabalha abordou os procedimentos para o fabrico utilizados na secção de maquinagem de uma empresa que produz equipamentos para estampagem e embalagem de vestuário, com o objectivo de procurar os pontos de melhoria no seu processo produtivo que proporcionem no futuro uma produção mais eficiente e eficaz.

Um dos aspectos abordados neste trabalho foi a metodologia da gestão das ferramentas de corte, pois é um dos factores importantes quando se pretende melhorar o processo produtivo, pois esta revela-se como uma mais-valia na redução de custo e optimização do trabalho, que é conseguida através da redução das paragens do fluxo de produção, maximizando a utilização das máquinas e ferramentas.

Avaliada a realidade vivida na secção de maquinagem, depressa se previu que este trabalho seria uma mais-valia para a empresa pois este incidia sobre uma área onde não se encontrava implementado qualquer tipo de metodologia de controlo ou planeamento. Um exemplo da falta de planeamento e controlo detectados é a utilização das ferramentas fora dos parâmetros de corte ou em operações inadequadas.

A aplicação de algumas das soluções que foram sendo apresentadas ao longo desta dissertação foi o maior desafio à execução deste trabalho, pois foi necessário proceder a mudanças de mentalidades e compreensão de que a implementação de novas metodologias é fundamental na procura de uma melhoria contínua.

Uma das soluções descritas neste trabalho e mais difícil de implementar foi sem margem para dúvidas a aceitação dos operadores das máquinas que deveriam utilizar fresas de debaste nas operações de desbaste e acabamento nas operações de acabamento, pois segundo eles não viam qualquer vantagem da utilização de ferramentas diferentes. Este problema deveu-se sobretudo ao facto de o conhecimento sobre a tecnologia de maquinagem ter sido adquirida com

a prática e sem sustentação técnica, o que fez com que esta alteração levasse muito tempo a ser implementada e fosse mesmo necessário realizar demonstrações práticas das vantagens de utilizar fresas distintas nos diferentes tipos de operações.

Outro tema abordado foi a implementação de um sistema CAD/CAM com vista igualmente à melhoria do processo produtivo, com a passagem da programação manual para a assistida por computador. Este era para a empresa o principal objectivo desta dissertação que fossem criadas as condições para a implementação da programação assistida por computador.

Com esta alteração de filosofia queria-se aumentar o tempo de produção dos equipamentos pois até aqui os equipamentos encontravam-se parados enquanto os operadores produziam os programas para a execução das peças, assim como ampliar a complexidade das peças produzidas.

Esta mudança de filosofia não foi fácil de implementar pois existiram alguns entraves à sua aplicação prática. Um deles era a desconfiança e o medo de utilizar os programas produzidos computacionalmente sem necessidade de recorrer ao singlebook Esta alteração de procedimentos ao início foi um problema pois os operadores não aceitavam executar os programas proveniente do CAM sem recorre ao single book, o que aumentava muito o tempo de produção da primeira peça. Foi necessário explicar-lhes que os programas utilizados já tinham sido testados num ambiente virtual e não era necessário realizar mais nenhuma confirmação.

Mas nem tudo foram problemas ao longo desta mudança, algumas vantagens vieram da utilização do *software* CAM. Uma delas foi sem margem para dúvidas o aumento da vida das ferramentas de corte, pois passaram a ser utilizadas estratégias de maquinagem que até então nunca tinham sido usadas, e para além disso começaram a ser utilizados os parâmetros de corte especificados para cada ferramenta

Foi também notório e como já era previsível, o tempo disponível para produção das máquinas aumentou significativamente.

Em suma, é possível dizer que este trabalho cumpriu os objectivos estipulados pela empresa, pois no final desta dissertação, a empresa apresentou uma oferta de trabalho para dar continuidade ao trabalho desenvolvido.

Sugestões de trabalho futuro

As oportunidades de melhoria na gestão de ferramentas e na implementação de um sistema CAD/CAM na empresa alvo do estudo não se esvaziam nas apresentadas ao longo desta dissertação. Para trabalho futuro ficam as seguintes propostas:

- Criar um departamento técnico que seja responsável pela selecção e o uso das ferramentas de corte.
- Criar departamento logístico que tenha como função controlar o fluxo de informações como a capacidade, desempenho e o sequenciamento e o fluxo físico das ferramentas como o armazenamento, manutenção, disponibilidade e transporte atá à máquina.
- Criar um departamento estratégico que se envolva na padronização das ferramentas de corte a diminuição do tipo e a compras das ferramentas, além da redução dos *stocks*.
- Criar o cargo de almoxarife e uma ferramentaria, onde as ferramentas estajam organizadas, armazenadas e a preparação das ferramentas seja feita.
- Desenvolver melhor as bases de dados das ferramentas de corte em função dos materiais para diminuir o tempo de produção dos programas.
- Desenvolver as bases de dados das operações de maquinagem, que permitam ao *software* reconhecer um maior número de geometrias, para desenvolver os programas de forma automática.

Bibliografia

1. **WAGNER, CLAUDIANE.** *REDUÇÃO DE CUSTOS ATRAVÉS DA AFIAÇÃO DE FERRAMENTAS.* ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS, UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA. JOINVILLE : s.n., 2008.

2. **Favaretto, Alexandre Souto.** *Estudo do Gerenciamento de Ferramentas de Corte na Indústria Automotiva de Curitia e Região Metropolitana.* Universidade Católica do Paraná. Curitiba : s.n., 2005.

3. **JUNIOR, ADIR ZONTA.** *GERENCIAMENTO DE FERRAMENTAS: ESTUDOS DE CASO EM EMPRESAS DO SETOR METAL-MECÂNICO BRASILEIRO.* ENGENHARIA MECÂNICA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Florianópolis : s.n., 2007.

4. **Sarmento, António Alexandre Tomé Ribeiro Malheiro.** *Gestão de ferramentas Swedwood Portugal.* Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto : s.n., 2010.

5. **Favaretto, Alexandre Souto, Valle, Pablo Deivid e Junior, Osiris Canciglieri.** O gerenciamento de ferramentas de corte na indústria automotiva: um estudo de casos na região metropolitana de Curitiba. *Produto & Produção.* 3, Outubro de 2009, Vol. 10, pp. 45-60.

6. **Coromant, Sandvik.** *Manual Técnico Torneamento - Fresamento - Furação - Mandrilamento - Sistemas de fixação.* Suécia : Elanders, 2010.

7. **Rose, Steve.** [Online] [Citação: 1 de Agosto de 2012.] http://www.cnc-training.com/tandp/dec03.htm.

8. **Junior, Adir Zonta.** Gerenciamento de ferramentas: muito além do controle logístico. 3 [ed.] Franscisco Marcondes. *O Mundo da Usinagem.* [Revista]. São Paulo : Divisão Coromant da Sandvik do Brasil, 2010. Gerenciamento de ferramentas, pp. 12-16. Revista. 1518-6091.

9. **Coromant, Sandvik.** [Online] [Citação: 2012 de Agosto de 3.] http://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/services/tool_logistic_solutions/pages/default.aspx#.

10. **Shop, Modern Machine.** Automatic Tool Dispenser Controls Tools But Builds Trust. [Online] [Citação: 8 de Agosto de 2012.] http://www.mmsonline.com/articles/automatic-tool-dispenser-controls-tools-but-builds-trust.

11. **Insight, Manufacturing Techonology.** [Online] [Citação: 8 de Agosto de 2012.] http://www.machinery.co.uk/machinery-features/milling-drilling-tool-vending-oil-industry/26854/.

12. **Portugal, Iscar.** Simplicidade MATRIX - As suas Ferramentas Sempre perto do utilizador. 2012. Matris. Apresentação Power Point.

13. **Zunior, Adir Zonta e Silveira, Adilson.** Gestão integrada das ferramentas otimização produção. 3 [ed.] Francisco Marcondes. *O mundo da usinagem.* São Paulo : Divisão Coromant da Sandvik do Brasil, 2011. Gestão de ferramentas, pp. 20-24. Revista. 1518-6091.

14. **Choi, Byoung K. e Jerard, Robert B.** *Sculptured Surface Machining - Theory and applications.* s.l. : Kluwer Academic Pub, 1998. 0412780208.

15. **ARIAS, MARCELO LUIS.** *ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE DIFERENTES SISTEMAS CAM NA USINAGEM DE SUPERFÍCIES COMPLEXAS UTILIZANDO ALTAS VELOCIDADES.* INSTITUTO SUPERIOR TUPY. JOINVILLE : s.n., 2009.

16. **Helleno, André Luís.** *INVESTIGAÇÃO DE MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO PARA TRAJETÓRIA DA FERRAMENTA NA USINAGEM DE MOLDES E MATRIZES COM ALTA VELOCIDADE.* UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA. Santa Bárbara d'Oeste : s.n., 2004.

17. **McMahon, Chris e Browne, Jimmie.** *Cadcam: From Principles to Practice.* s.l. : Addison-Wesley, 1993. 9780201565027.

18. **SOUZA, ADRIANO FAGALI DE.** Análise Conceitual Sobre a Tecnologia CAD/CAM. [ed.] Revista Mecatrônica Fácil. 2005. Vol. 23.

19. *Tecnologia CAD/CAM - Definições e estado da arte visando auxiliarsua implantação em um ambiente fabril.* **Souza, Adriano Fagali de e Coelho, Reginaldo Teixeira.** Ouro Preto, : s.n., 21 a 24 de out de 2003 . ENEGEP.

20. **Souza, Adriano Fagali de e Coelho, Reginaldo Teixeira.** Tecnologia CAD/CAM - Definições e estado da arte visando auxiliar. *ENERGEP.* 21 a 24 de Outubro de 2003, Vol. XXIII, Produção.

21. **Cunha, Raimundo Ricardo Matos da.** *ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIAS NA TROCA DE DADOS EM CAD/CAM.* Mecânica, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Florianópolis : s.n., 2000.

22. **Miralles, Carlos Eduardo.** *Análise de Estratégias de Corte no Fresamento com 5 eixos.* Produção, UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA. Santa Bárbara d'Oeste : s.n., 2009.

23. **HENRIQUES, JOSELITO RODRIGUES.** *Contribuição para a Otimização da Troca de dados Geométricos entre Sistemas CAD Utilizando Processadores STEP AP 214.* Produção, UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA. SANTA BÁRBARA D'OESTE : s.n., 2004.

24. **S.Roque-Maquinas e Tecnologia Laser S.A.** Manual de Acolhimento. Riba de Ave : s.n., 2010.

25. **S.Roque.** [Online] [Citação: 3 de Agosto de 2012.] http://www.sroque.pt/.

26. **Lda, J. Lemos Esteves.** *Máquinas e equipamentos diversos para venda.* [Online] [Citação: 9 de Agosto de 2012.] http://www.jlemosesteves.pt/pic/_Frezadora__22_4a66dc38240ec.jpg.

27. **HAAS.** [Online] [Citação: 9 de Agosto de 2012.] http://2.bp.blogspot.com/-a5D6Nhedd10/TYlONxB3YzI/AAAAAAAAADw/kwDJ56G4X3M/s320/fresa.bmp.

28. **Mecânico, Portal do Torno.** [Online] [Citação: 9 de Agosto de 2012.] http://www.tornosmecanico.com.br/ad-tag/tornos-mecanicos-para-venda/.

29. **MTD.** [Online] [Citação: 9 de Agosto de 2012.] http://www.mtdcnc.com/machine-tool-news/Mazak-CNC-turning-centre-.asp.

30. **OML.** [Online] [Citação: 10 de Agosto de 2012.] http://www.omlspa.it/TETRABLOCK_serraggio_it.php?Id_catalogo=6.

31. **CIMM.** [Online] [Citação: 10 de Agosto de 2012.] http://www.cimm.com.br/portal/produto/imagem/16933/FRESASTAMARU.jpg.

32. **Jungheinrich.** [Online] [Citação: 10 de Agosto de 2012.] http://www.jungheinrich.pt/pt/pt/index-pt/produtos/empilhadores-usados/pedido-equipamento-usado.

33. **Ferraresi, Dino.** *Fundamentos da Usinagem dos Metais.* São Paulo : Edgard Blucher Ltda., 1970. Vol. 1. 9788521202578.

34. **Davim, João Paulo.** *Princípios da Maquinagem.* s.l. : Publindústria, 2008. 9789728953249.

35. **WAGNER, CLAUDIANE.** *REDUÇÃO DE CUSTOS ATRAVÉS DA AFIAÇÃO DE FERRAMENTAS DE CORTE: O CASO DE UMA EMPRESA DO SETOR METAL MECÂNICO.* ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS. JOINVILLE : UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA, 2008.

36. **Relvas, Carlos.** *Controlo NuméricoComputorizado Conceitos Fundamentos.* Porto : Publindústria , 2000. 972-95794-6-6.

37. **Coroman, Sandvik.** [Online] [Citação: 23 de Agosto de 2012.] http://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/general_turning/getting_started/tool_life/Pages/default.aspx.

38. **TOOLS, SECO.** *Fresamento.* Sweden : Fragersta, 2002. Guia técnico.

39. **OML.** [Online] [Citação: 17 de 08 de 2012.] http://www.omlspa.it/cataloghi/IT/17_1_535_it.pdf.

40. —. [Online] [Citação: 17 de Agosto de 2012.] http://www.omlspa.it/cataloghi/IT/16.pdf.

41. **Gefer.** [Online] [Citação: 23 de Agosto de 2012.] http://www.gefer.net.br/.

42. **Coromant, Sandvik.** [Online] [Citação: 20 de Agosto de 2012.] http://www.smt.sandvik.com/en/products/.

43. **International, Machan.** [Online] [Citação: 20 de Agosto de 2012.] http://www.toolsstorage.net/pt/tool-storage-cabinet.html.

44. **Souza, Adriano Fagali de.** *Análise das interpolações de trajetórias de ferramenta na usinagem HSC (High Speed Cutting) em superfícies complexas.* MECÂNICA. Santa Bárbara d'Oeste : s.n., 2001.

Anexo A - Layout das instalações

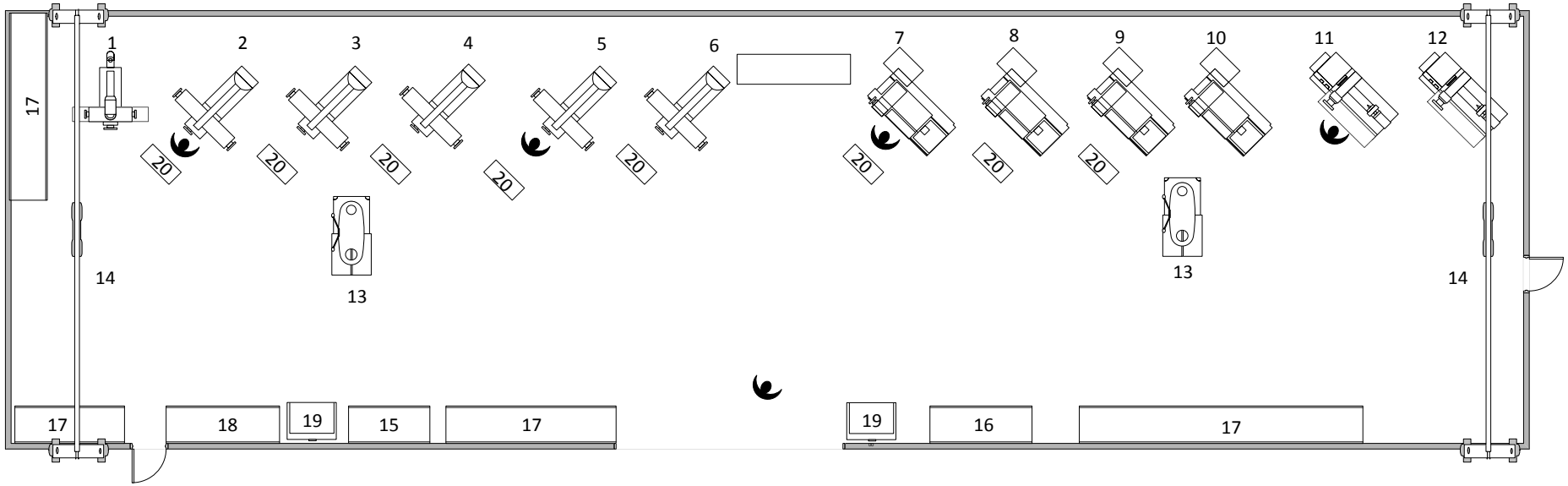


Figura 61: *Layout* da secção de maquinagem (autor)

Legenda:

1 – Fresadora manual
2 – Centro de maquinagem
3 – Centro de maquinagem
4 – Centro de maquinagem
5 – Centro de maquinagem
6 – Centro de maquinagem
7 – Centro de torneamento
8 – Centro de torneamento
9 – Centro de torneamento
10 – Torno CNC
11 – Torno manual
12 – Torno manual
13 – Engenho de furar
14 – Ponte rolante
15 – Armazém de ferramentas (fresadoras)
16 – Armazém de ferramentas (tornos)
17 – Prateleiras de arrumos
18 – Prateleiras de arrumos dos calços e gabaris
19 – Bancadas de apoio a montagem das ferramentas
20 – Bancadas de apoio as fresadoras e tornos

Anexo B - Material de apoio

Exemplo 1

Tipo de operação: Acabamento
Ferramenta: 3637
Material: Aço de construção
Diâmetro da ferramenta: 12 mm

Sabendo qual é o tipo de operação, material e diâmetro da ferramenta e recorrendo ao catálogo do fabricante é possível determinar a velocidade de rotação da árvore e o avanço, que permite optimizar a vida da ferramenta, aplicando as seguintes equações:

Velocidade de rotação

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D}$$

n - Velocidade de rotação (rpm)
Vc - Velocidade de corte (m/min)
D - Diâmetro da fresa (mm)

Velocidade de avanço

$$vf = fz \times z \times n$$

vf – Velocidade de avanço de mesa (mm/min)
fz – Avanço por navalha (mm)
n – Velocidade de rotação de fresa (rpm)
z – Número de navalhas

Se aplica preferentemente las herramientas con no. de serie de avance (VR-Código) visualizado **en negrita**.

a_e = ancho de corte

a_p = profundidad de corte

a_e = 0,1 x D

Material de corte	MD-UF		MD-UF	
Tipo	N		N	
No. de art. DIN 6527	3198	3298	3637	3721
DIN 6528				
Norma Guhring				

* En herramientas con canal interior en algunos casos se puede aumentar el avance hasta un 40%

a_p = 1 x D a_p = 1 x D

Informaciones detalladas sobre los colores que hacen referencia a los distintos campos de aplicación, las obtendrá al principio del capítulo „Compás" en este catálogo.

Fresa-Ø mm	No. de serie de avance 37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
	f_z (mm/diente)															
2,00	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,018	0,020
3,00	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,007	0,010	0,010	0,010	0,015	0,016	0,013	0,019	0,022	0,024	0,030
5,00	0,005	0,006	0,007	0,009	0,010	0,014	0,020	0,020	0,022	0,025	0,026	0,026	0,028	0,030	0,032	0,038
6,00	0,006	0,008	0,009	0,011	0,013	0,017	0,024	0,025	0,027	0,031	0,036	0,033	0,039	0,036	0,041	0,047
8,00	0,010	0,012	0,014	0,016	0,019	0,024	0,032	0,032	0,035	0,042	0,042	0,047	0,053	0,052	0,058	0,064
10,00	0,013	0,015	0,018	0,021	0,025	0,030	0,038	0,039	0,044	0,050	0,053	0,059	0,065	0,066	0,073	0,080
12,00	0,016	0,018	0,022	0,026	0,030	0,036	0,046	0,048	0,052	0,059	0,063	0,072	0,079	0,085	0,090	0,100
16,00	0,020	0,023	0,027	0,032	0,038	0,045	0,054	0,058	0,063	0,071	0,079	0,088	0,095	0,100	0,110	0,120
20,00	0,023	0,028	0,033	0,038	0,045	0,057	0,066	0,073	0,080	0,090	0,097	0,100	0,110	0,120	0,130	0,140
25,00	0,030	0,035	0,040	0,045	0,055	0,065	0,075	0,100	0,120	0,130	0,140	0,150	0,165	0,170	0,180	0,190

Grupo de materiales	Ejemplos de materiales	Resistencia Dureza MPa (N/mm²)	v_c m/min	VR-Código	v_c m/min	VR-Código
Aceros de construcción	~~1.0035 S185, 1.0486 P275N, 1.0345 P235GH, 1.0425 P265GH~~	≤500	94 - 116	47	157 - 193	48
	1.0050 E295, **1.0070** E360, **1.8937** P500NH	>500-850	86 - 106	46	144 - 176	47
Aceros de automáticos	**1.0718** 11SMnPb30, **1.0736** 11SMn37	≤850	94 - 116	46	157 - 193	47
	1.0727 46 S20. **1.0728** 60 S20. **1.0757** 46SPb20	850-1000	70 - 86	45	117 - 143	46
Aceros sin alear tratables térmicamente	**1.0402** C22, **1.1178** C30E	≤700	94 - 116	46	157 - 193	47
	1.0503 C45, **1.1191** C45E	700-850	86 - 106	46	144 - 176	47
	1.0601 C60, **1.1221** C60E	850-1000	70 - 86	45	117 - 143	46
Aceros aleados tratables térmicamente	**1.5131** 50MnSi4, **1.7003** 38Cr2, **1.7030** 28Cr4	850-1000	83 - 103	45	139 - 171	46
	1.5710 36NiCr6, **1.7035** 41Cr4, **1.7225** 42CrMo4	1000-1200	70 - 86	44	117 - 143	45

Figura 62: Ferramenta 3637 Guhring (autor)

O primeiro passo para determinar quais os melhores parâmetros de corte a utilizar é calcular a velocidade de rotação da ferramenta. Para isso, é necessário saber qual é a velocidade de corte, que é obtida no catálogo das ferramentas como está ilustrado na Figura 62.

Conhecendo o material que se vai maquinar e a ferramenta a utilizar é possível determinar velocidade de corte (ponto 1),estando esta entre um intervalo de valores. Para uma primeira aproximação deve ser utilizado o valor médio deste intervalo, apenas por uma questão de segurança, podendo este ser ajusto conforme o comportamento demostrado ao longo da maquinagem. Aplicando agora a equação (1) obtém-se o valor da rotação.

$$v_c = \frac{157 + 193}{2} = 175mm/min$$

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D} = \frac{175 \times 1000}{3{,}14 \times 12} = 4644rpm$$

Agora que a velocidade de rotação é conhecida é necessário determinar a velocidade de avanço, para isso é necessário determinar o avanço por navalha (*fz*) que é obtido como ilustrado na Figura 62, através do diâmetro da ferramenta é do número da série do avanço que está indicado afrente do material. Aplicando agora a equação (2) obtém-se o valor da avanço.

$$vf = 0.072 \times 4 \times 4644 = 1375mm/min$$

Exemplo 2

Tipo de operação: Desbaste
Ferramenta: 3706
Material: Aço de construção
Diâmetro da ferramenta: 12 mm

O procedimento utilizado para calcular os parâmetros de corte é exactamente igual ao apresentado no exemplo 1, mas agora são utilizados os parâmetros da Figura 63.

Velocidade de rotação:

$$v_c = \frac{76 + 94}{2} = 86{,}5mm/min$$

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D} = \frac{86.5 \times 1000}{3.14 \times 12} = 2296rpm$$

Velocidade de avanço:

$$vf = 0.048 \times 4 \times 2296 = 441mm/min$$

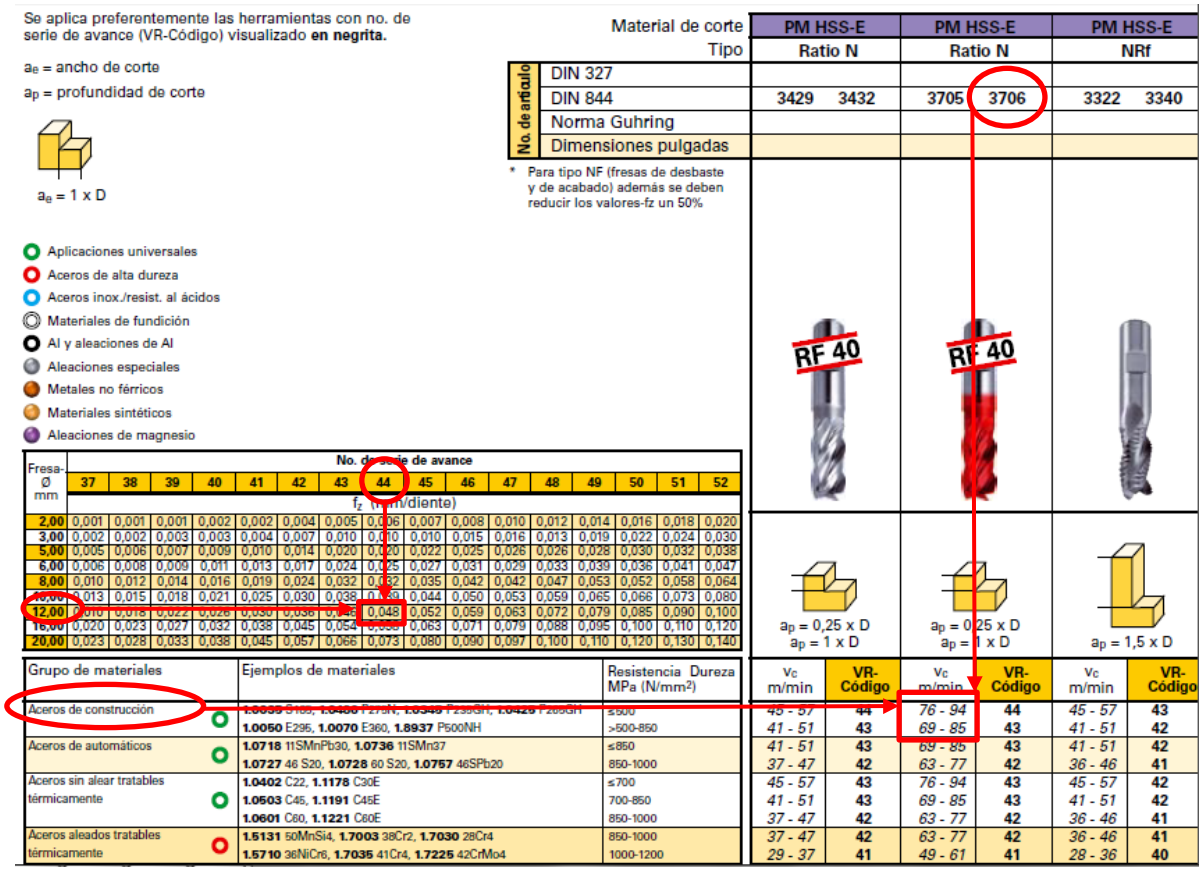


Figura 63: Ferramenta 3706 Guhring (autor)

Exemplo 3

Tipo de operação: Desbaste
Ferramenta: EC-H4M-CFR
Material: Aço de construção
Diâmetro da ferramenta: 12 mm

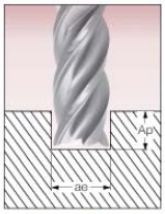
Neste exemplo será demostrada a forma de seleccionar os parâmetros de corte de acordo com o catálogo das ISCAR (Figura 64). O procedimento é análogo aos anteriores, apenas existem umas pequenas diferenças que são existir um avanço por dente (*fz*) máximo e mínimo e valores para *fz* para várias profundidades de corte (ap) e largura de corte (ae). Neste caso, procede-se da mesma forma que na velocidade de corte, utilizando o valor médio.

ISO	Material		Condition	V min m/min	V max m/min
P	Non-alloy steel, cast steel, free cutting steel	0.1 - 0.25 %C	Annealed	260	280
		0.25 - 0.25 %C	Annealed	200	230
		0.25 - 0.25 %C	Quenched and tempered	160	220
		0.55 - 0.80 %C	Annealed	160	220
		0.55 - 0.80 %C	Quenched and tempered	140	180
	Low alloy steel and cast steel (less than 5% alloying elements)		Annealed	160	220
			Quenched and tempered	120	180
				130	180
				140	180
	High alloy steel, cast steel and tool steel		Annealed	130	180
			Quenched and tempered	70	120
M	Stainless steel and cast steel		Ferritic/martensitic	80	160
			Martensitic	60	150
			Austenitic	60	120
K	Cast iron nodular (GGG)		Ferritic/pearlitic	80	260
			Pearlitic	130	240
	Grey cast iron (GG)		Ferritic	150	280
			Pearlitic	90	280
	Malleable cast iron		Ferritic	150	280
			Pearlitic	140	240
N	Aluminum-wrought alloy		Not cureable	810	840
			Cured	730	830
	Aluminum-cast, alloyed	<=12% Si	Not cureable	800	840
			Cured	730	830
		>12% Si	High temperature	320	340
	Copper alloys	>1% Pb	Free cutting	400	430
			Brass	400	430
			Electrolitic copper	270	300
	Non-metallic		Duroplastics, fiber plastics		
			Hard rubber		
S	High temp. alloys	Fe based	Annealed	20	40
			Cured	20	30
	Super alloys	Ni or Co based	Annealed	20	30
			Cured	20	30
			Cast	30	70
	Titanium, Ti alloys			30	70
		Alpha+beta alloys cured		30	70
H	Hardened steel		Hardened	30	50
			Hardened	30	40
	Chilled cast iron		Cast	60	80
	Cast iron		Hardened	30	50

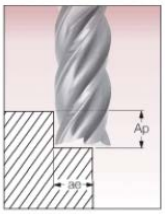
Recommended Feed

AP=0.5-1xD

D mm	Slotting ae=D Fz(min)	Fz(max)
6	0.025	0.06
8	0.03	0.08
10	0.03	0.09
12	0.035	0.1
16	0.05	0.12
20	0.05	0.15

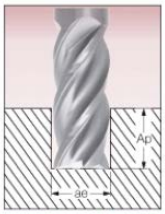


D mm	Side Milling ae=0.45-0.75xD Fz(min)	Fz(max)
6	0.025	0.07
8	0.03	0.09
10	0.03	0.1
12	0.035	0.11
16	0.05	0.13
20	0.05	0.17



AP=1-2xD

D mm	Slotting ae=D Fz(min)	Fz(max)
6	0.025	0.05
8	0.03	0.05
10	0.03	0.05
12	0.035	0.06
16	0.04	0.07
20	0.05	0.08



D mm	Side Milling ae=0.45-0.75xD Fz(min)	Fz(max)
6	0.025	0.06
8	0.03	0.08
10	0.03	0.09
12	0.035	0.1
16	0.05	0.11
20	0.05	0.11

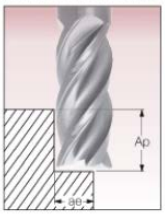


Figura 64: EC-H4M-CFR ISCAR (autor)

$$v_c = \frac{160 + 220}{2} = 190mm/min$$

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times D} = \frac{86{,}5 \times 1000}{3{,}14 \times 12} = 5042rpm$$

Velocidade de avanço:

$$f_z = \frac{0{,}35 + 0.1}{2} = 0{,}0675mm/min$$

$$vf = 0{,}0675 \times 4 \times 5042 = 1361mm/min$$

Anexo C - Folha de Preparação

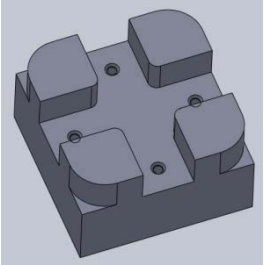
Máquinas e Tecnologia Laser, S.A.	**FOLHA DE PREPARAÇÃO**	**Página 1**

O.F.: OPDP.141800000

Artigo: S0000XB50068A00 – SAP – 2190-5-061101
Obs:
Armazém:A02-ESTANTES,

Quant Total: 90,0 **Peso Unit.**:

Serie: E.I.15182 **Peso Total:**0,00



Código	Descrição	Posição	Diâmetro [mm]	Altura [mm]
	 Fresa de facejar 50mm ISCAR (F45KT D080-27-R06)	T1	50	70
	 Fresa de topo desbaste 12 mm ISCAR (EFS-B44 08-18C08-63)	T2	11,938	50.047
	 Fresa de topo acabamento 12mm ISCAR (ECH120B25-6C12)	T3	12,020	40.925
	 Broca helicoidal 4.8mm ISCAR (SCCD 060-035-060 AP5)	T4	6	60.547
	 Macho M6 ISCAR (TP11 M6X1-6HX-FCF-HET)	T5	6	49.218

Código de listagem	Versão:	Departamento	Utilizador	Data: 2012-08-28
		Planeamento	Emanuel	Hora: 12:43

Anexo D - Equipamentos de produção

Parque de máquinas

O parque de máquinas (Figura 19) da empresa S. Roque e Tecnologia Laser é constituído por 5 centros de fresagem e 3 centros de torneamento, 1 torno CNC, 1 fresadora manual e 2 tornos manuais.

Neste anexo serão apenas apresentadas as características dos centros de fresagem, pois foram os equipamentos analisados durante a elaboração deste trabalho.

O conhecimento das características deste tipo de equipamentos e um factor fundamentar para definir correctamente os parâmetros de corte, qual a melhor geometria da ferramenta, quais as técnicas de maquinagem a utilizar, entre outros parâmetros.

Um exemplo onde é importante conhecer as características dos equipamentos é nos centros onde a velocidade de rotação dos fusos é elevada, e o accionamento é feito de forma directa o que resulta num binário mais baixo com rpm mais altos e potência mais baixa com rpm mais baixos. O que faz com que as máquinas com capacidade de altas rotações possuam limitações para o desbaste com fresas de diâmetros grandes, as quais requerem rpm baixo e potência alta.

Sendo, as características dos equipamentos CNC tão importantes em seguida serão apresentadas (com a seguinte ordem de apresentação da direita para a esquerda como na Figura 19).

Figura 65: Centro Eumach MC 2150P (FRZ1) (autor)

Tabela 4: Características do centro Eumach MC 2150P 2150P (FRZ1)

Tipo	Centro de maquinagem vertical (Eumach MC 2150P)
Dimensões	2150 x 900 x 900 mm
Capacidade de carga da mesa	2500 kg
Conicidade	50
Potência de accionamento	25 kW
Velocidade de rotação da árvore	6000 rpm
Velocidade de deslocamento dos eixos	15,2 m/min nos eixos X, Y e Z 40°/seg. no eixo A
Velocidade máxima de corte	8m/min
Sistema de refrigeração	Refrigeração por imersão total
Reservatório	350 L
Sistema de troca de ferramentas	24+1
Tempo de troca de ferramenta	18 seg.

Figura 66: Centro HAAS VF-6/50 2150P (FRZ2) (autor)

Tabela 5: Características do centro HAAS VF-6/50 (FRZ2)

Tipo	Centro de maquinagem vertical (HAAS VF-6/50)
Dimensões	1626 x 813 x 762 mm
Capacidade de carga da mesa	1814 kg
Conicidade	50
Potência de accionamento	22.4 kW
Velocidade de rotação da árvore	12000 rpm
Velocidade de deslocamento dos eixos	13,7 m/min no eixo X 15,2 m/min nos eixos Y e Z 50°/seg no eixo A
Velocidade máxima de corte	12.7 m/min
Sistema de refrigeração	Refrigeração por imersão total
Reservatório	360 L
Sistema de troca de ferramentas	24+1
Tempo de troca de ferramenta	3.6 seg.

Figura 67: Centro HAAS VF-4 (FRZ3) (autor)

Tabela 6: Características do centro HAAS VF-4 (FRZ3)

Tipo	Centro de maquinagem vertical (HAAS VF-4)
Dimensões	1270 x 508x 635 mm
Capacidade de carga da mesa	1588 kg
Conicidade	50
Potência de accionamento	22.4 kW
Velocidade de rotação da árvore	12000 rpm
Velocidade de deslocamento dos eixos	25.4 m/min
Velocidade máxima de corte	16.5 m/min
Sistema de refrigeração	Refrigeração por imersão total
Reservatório	208L
Sistema de troca de ferramentas	24+1
Tempo de troca de ferramenta	4.5 seg.

Figura 68: Centro EUMACH HSM-1000L (FRZ4) (autor)

Tabela 7: Características do centro EUMACH HSM-1000L (FRZ4)

Tipo	Centro de maquinagem vertical (EUMACH HSM-1000L)
Dimensões	1020 x 610x 610 mm
Capacidade de carga da mesa	850 kg
Conicidade	50
Potência de accionamento	22.4 kW
Velocidade de rotação da árvore	8000 rpm
Velocidade de deslocamento dos eixos	24 m/min
Velocidade máxima de corte	7 m/min
Sistema de refrigeração	Refrigeração por imersão total
Reservatório	120L
Sistema de troca de ferramentas	24+1

Tempo de troca de ferramenta	10 seg.

Figura 69: Centro HAAS VF-6/50TR (FRZ5) (autor)

Tabela 8: Características do centro HAAS VF-6/50TR (FRZ5)

Tipo	**Centro de maquinagem vertical de 5 eixos (HAAS VF-6/50TR)**
Dimensões	800 x 400 x 650 mm
Capacidade de carga da mesa	780 kg
Conicidade	50
Potência de accionamento	22.4 kW
Velocidade de rotação da árvore	12000 rpm
Velocidade de deslocamento dos eixos	13,7 m/min no eixo X 15,2 m/min nos eixos Y e Z 50°/seg no eixo A 50°/seg no eixo B
Sistema de refrigeração	Refrigeração por imersão total
Reservatório	360 L
Sistema de troca de ferramentas	24+1
Tempo de troca de ferramenta	3.6 seg.

Anexo E - Manual CAMWORKS 2.5 eixos

1.1 Ambiente de trabalho do *CAMWorks*

Uma vez instalado o *software* da *CAMWorks* na plataforma do *SolidWorks*, é necessário preparar o ambiente de trabalho, ativando os ícones e a barra de ferramentas.

1.1.1 Activação da barra de ferramentas

Para trabalhar com o *CAMWorks* é necessário em primeiro lugar abrir o *SolidWorks* e verificar se na árvore de decisão, aparecem dois ícones suplementar e a barra de ferramentas, como é possível observar na Figura 70. Caso não se verifique, é necessário proceder a activação.

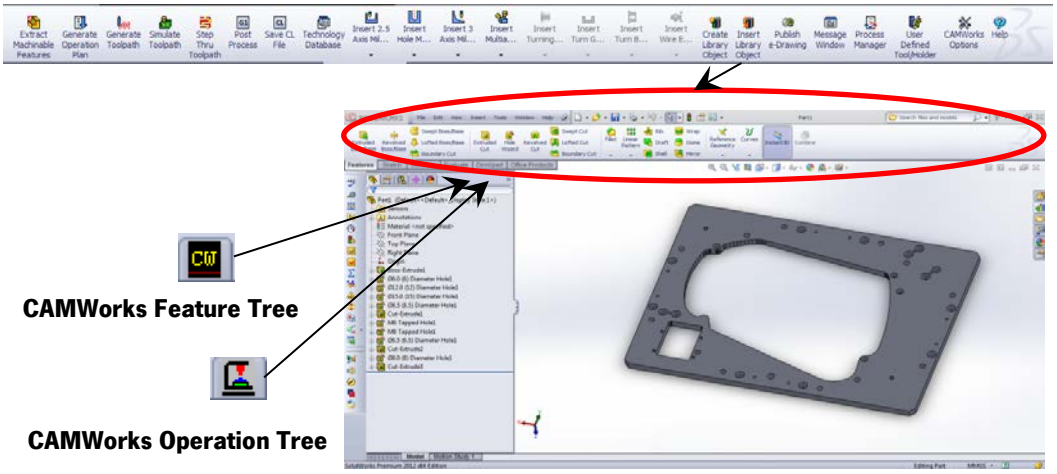


Figura 70: Ambiente de trabalho *SolidWorks* (autor)

Para activar os ícones e a barra de trabalho, pressiona-se o botão **Options,** seguido de **Add-ins**. Aparecerá uma janela, como se mostra na Figura 71. Nesta janela selecciona-se a opção *CAMWorks* **2012** e clica-se em **Ok**.

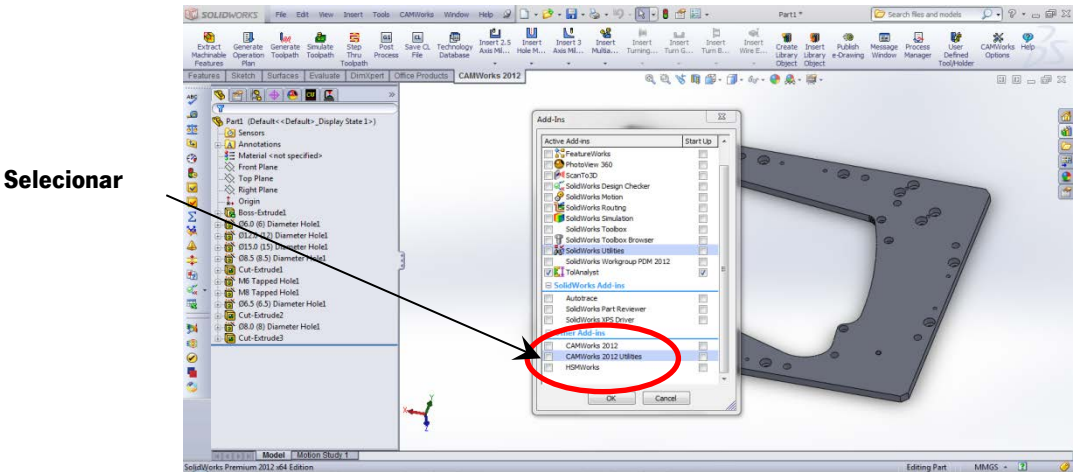


Figura 71: Janela de activação da barra do *CAMWorks* (autor)

Após activar o *CAMWorks* os ícones e a barra de ferramentas aparecem conforme a Figura 72.

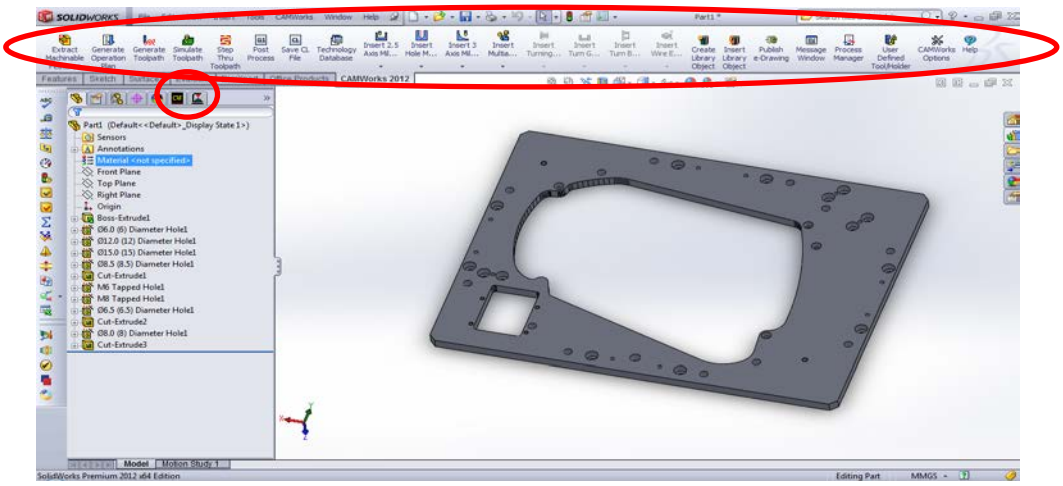


Figura 72: Ícones e barra de ferramentas de *CAMWorks*, activos. (autor)

1.2. Etapas para gerar a manufactura assistida por computador das peças de forma automática (CAM com AFR)

Para fabricar peças em 2 e 2.5 D com o *software* da *CAMWorks* a duas forma para o fazer:

1. Reconhecimento automático das características (*Automatic Feature Recognition*, ***AFR***).
2. Reconhecimento recurso interactivo (*Inretactivel Feature Recognition*, ***IFR***)

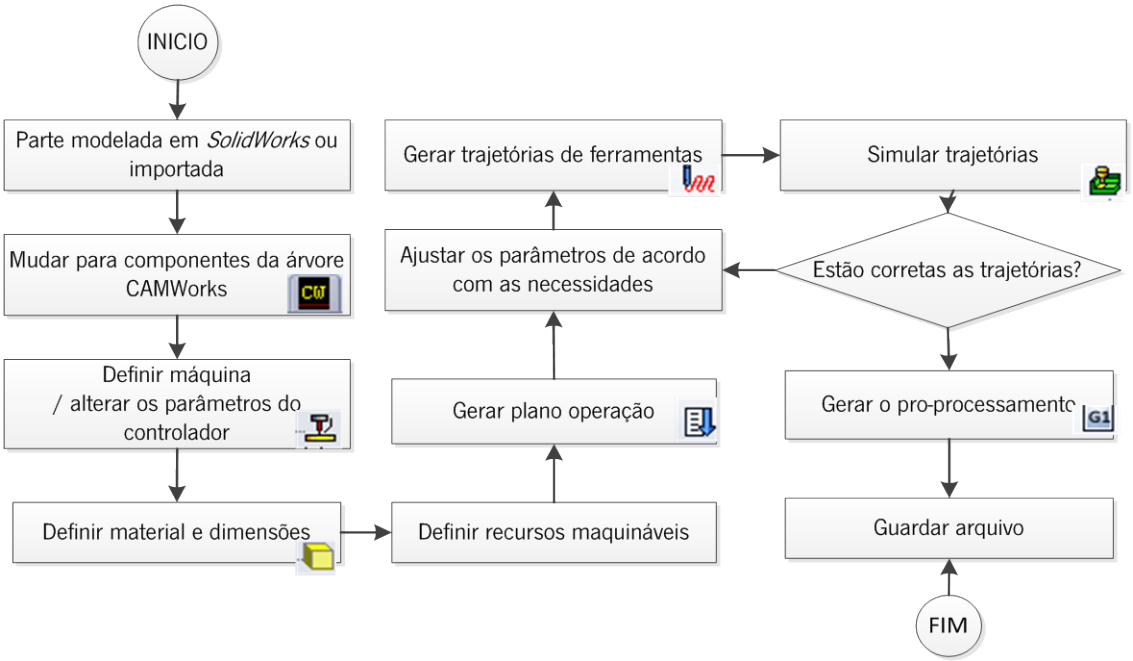


Figura 73: Passos para gerar um programa de uma peça em *CAMWorks*

Passos a seguir:

1. Obter o modelo da peça em *SolidWorks.*
2. Seleccionar o modo de trabalho do *CAMWorks.*
3. Definir a máquina, controlador e torreta.
4. Definir as dimensões e o tipo de material a maquinar.
5. Reconhecer e extrair a geometria da peça.
6. Gerar o plano de operações de maquinagem.
7. Ajustar os parâmetros de maquinagem.
8. Gerar as trajectórias das ferramentas.
9. Simular a maquinagem.
10. Gerar o código NC.

Com base nas etapas indicas anteriormente, realizara-se um exercício com um modelo previamente seleccionado, para gerar o programa NC de forma automática.

1. Abrir o modelo da peça, em *SolidWorks*

Abrir o arquivo MODELO 1.stdprt, localizado na directoria onde guarda as peças geradas no módulo CAD, por exemplo:

C:\Users\ASUS\Documents\Exemplo *CAMWorks*, como se mostra na Figura 74.

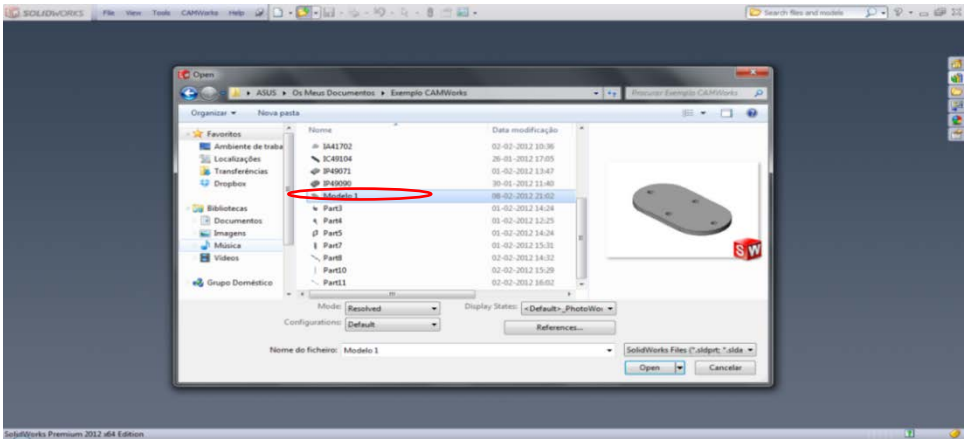


Figura 74: Selecção do ficheiro MODELO 1.stdprt (autor)

2. Iniciar programação em *CAMWorks*

Para iniciar o processo de programação em *CAMWorks* começa-se por seleccionar o ícone **CW**, na árvore de decisão do *SolidWorks*, onde esta se desdobra como se mostra na Figura 75. Aqui, é possível definir a máquina a utilizar (fresadora ou torno), o tipo de controlador, o tipo de torreta, o pós-processador, as dimensões e o tipo de material a maquinar.

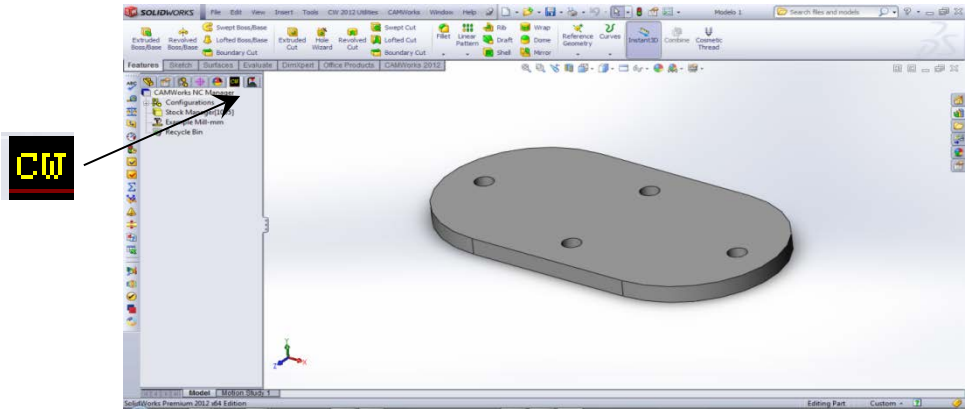


Figura 75: Arvore principal *CAMWorks* (autor)

3. Definição da máquina, controlador e torreta

Para definir o tipo de máquina a ser utilizada, executam-se as seguintes operações:

a) Seleccionar na árvore do *CAMWorks*, o ícone (clicando com o bom direito do rato), onde surge um submenu Figura 76, onde se escolhe ***Edit Definition***.

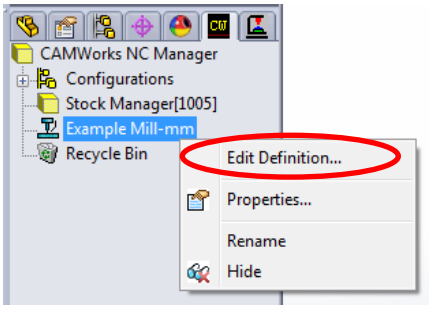


Figura 76: Submenu do tipo de máquina (autor)

b) Surgirá uma janela de diálogo com vários botões, onde a etiqueta ***Machine*** (maquina) está activa. Ai é mostrado uma lista das possíveis maquinas a utilizar de acordo com a geometria da peça a maquinar, para este exercício seleccionou-se a ***Example mill-mm***. Para que a selecção seja consumada é necessário pressionar o botão ***Select*** Figura 77.

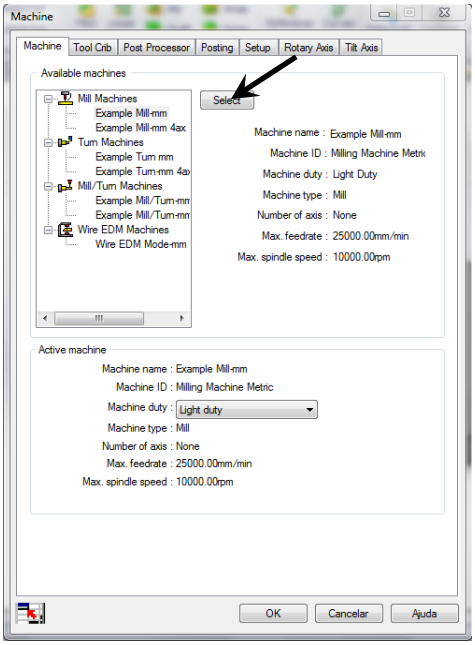


Figura 77: Seleção da máquina a utilizar (autor)

c) Clique na etiqueta ***Tool Crib*** (torreta), seleccione ***Tool Crib 1 (metric)*** e pressione o botão ***Select*** (Figura 78) para confirmar a selecção do tipo de torreta que a máquina utiliza.

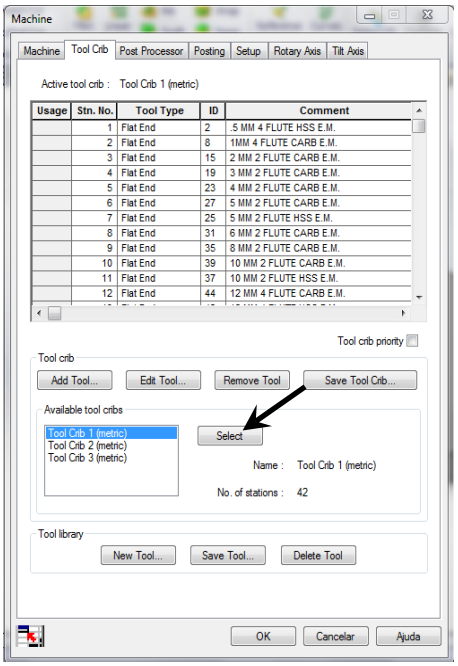


Figura 78: Seleção do tipo de torreta da máquina (autor)

d) Clique na etiqueta **P*ost Processor*** (pós-processador), seleccionar o pós-processador com o nome ***M3AXIS-TUTORIA***, da lista apresentada pressiona o botão ***Select*** para confirmar Figura 79.

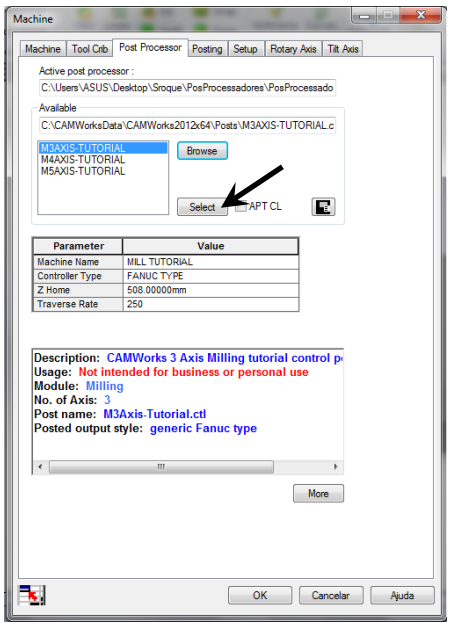


Figura 79: Selecção do pós-processador (autor)

Atenção: Os pós-processadores indicados a seguir apenas servem para ilustrar o funcionamento do *CAMWorks*, não devem ser usados para produzir código, pois podem conter

erros. A directoria onde podem ser encontrados os pós-processadores encontra-se em C:\CAMWorksData\CAMWorks2012x64\Posts.

4. Definir dimensões e o tipo de material a maquinar

a) Para definir o material, selecciona-se com o botão direito do rato, na árvore do *CAMWorks* o ícone **Stock Manager,** onde é visualizado o volume da peça em magenta (Figura 80), que representa mínimo de material necessário a maquinagem.

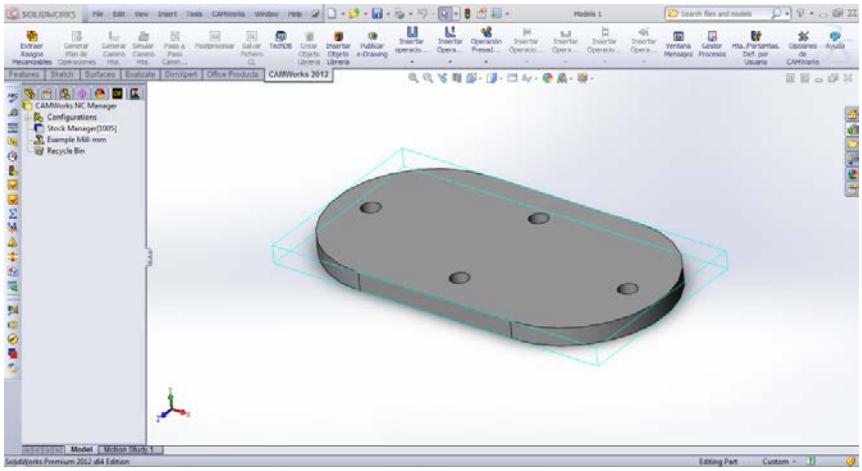
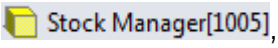


Figura 80: Volume de material da peça (autor)

Para alterar as dimensões do material, pressione o botão direito do rato sobre o ícone 

, onde surje um submenu como o da Figura 81: Submenu do material a maquinar e selecciona-se **Edit Definition** .

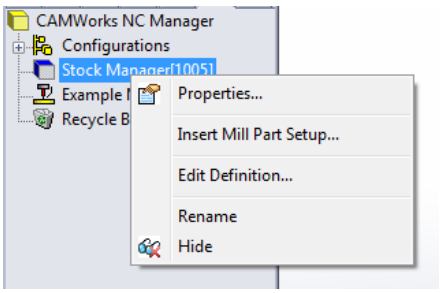


Figura 81: Submenu do material a maquinar (autor)

b) Após clicar sobre **Edit Definition** suje uma caixa de diálogo (Figura 82), onde se pode modificar as dimensões do material e o tipo de material a utilizar.

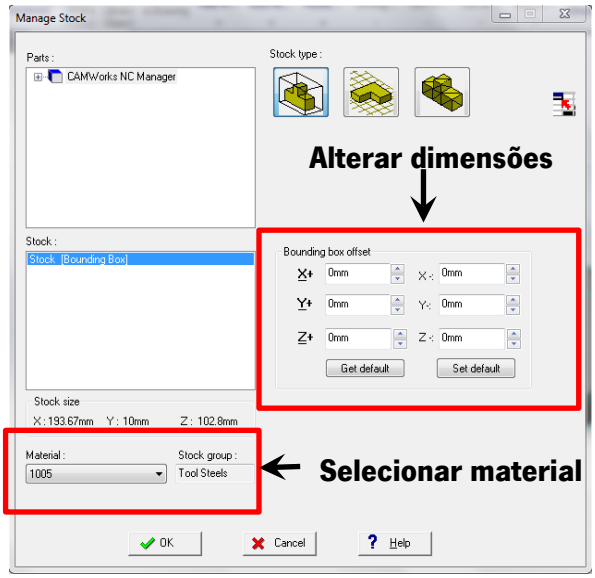


Figura 82: Janela de configuração das dimensões e seleção do material (autor)

5. Reconhecer e extrair a geometria da peça

Seleccionando o ícone CW que esta na barra do *CAMWorks*, com o botão esquerdo do rato, o *software* extrai as características da peça e cria as operações de maquinagem, que são apresentadas numa árvore como ilustrado na Figura 83.

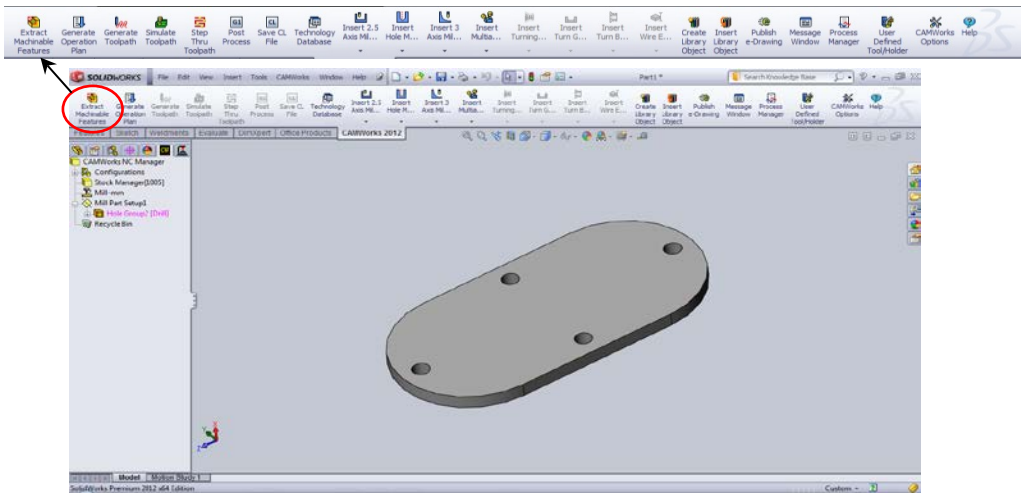


Figura 83: Reconhecimento da geometria da peça (autor)

6. Gerar o plano de operações de maquinagem

Agora pressionando o segundo ícone da barra do *CAMWorks*, gera-se o plano de operações de maquinagem, de acordo com a geometria que foi reconhecida anteriormente e possível observar que na árvore surgiram as operações de maquinagem descriminadas a cor diferente (Figura 84).

Clicando sobre elas é possível alterar os parâmetros de corte, escolher ferramentas, definir estratégias de maquinagem.

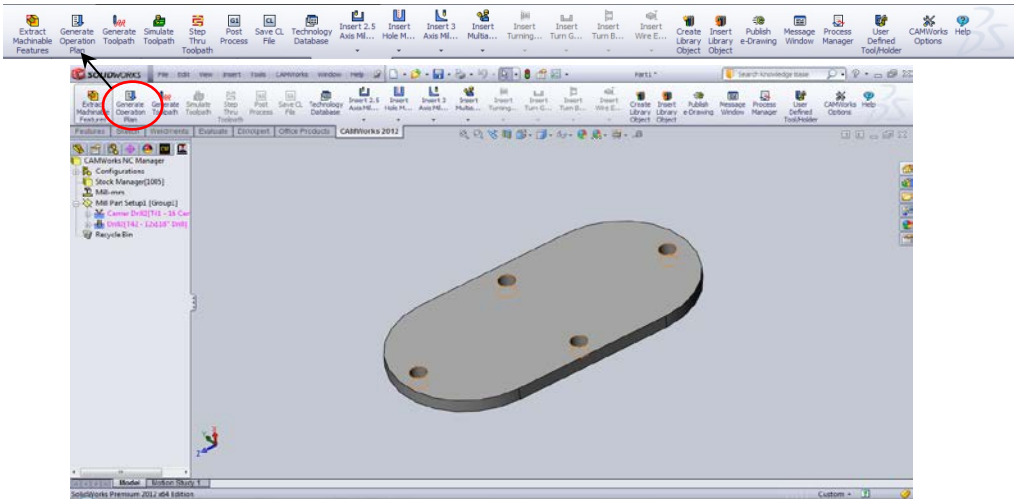


Figura 84: Ícone que gera o plano de operações de maquinagem (autor)

7. Gerar a trajectória das ferramentas

Pressionando o terceiro ícone da barra do *CAMWorks*, gera-se a trajectória das ferramentas, de acordo com o plano de operações realizado anteriormente. É possível verificar que as operações na árvore passaram de magenta para preto (Figura 85).

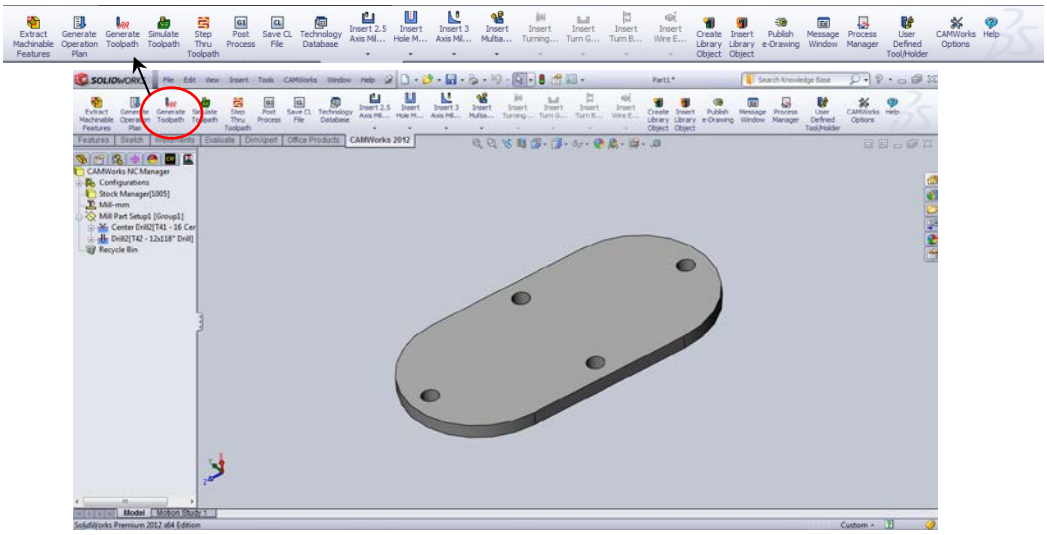


Figura 85: Trajetória das ferramentas (autor)

8. Simulação da maquinagem

Uma vez criada a trajectória das ferramentas é possível simular o processo de maquinagem, onde se visualiza o percurso da ferramentas e é possível verificar se existem erros ou colisões. Para iniciar a simulação, ajustar a velocidade, editar as definições das ferramentas, utiliza-se a pequena janela do quanto inferior direito da Figura 86.

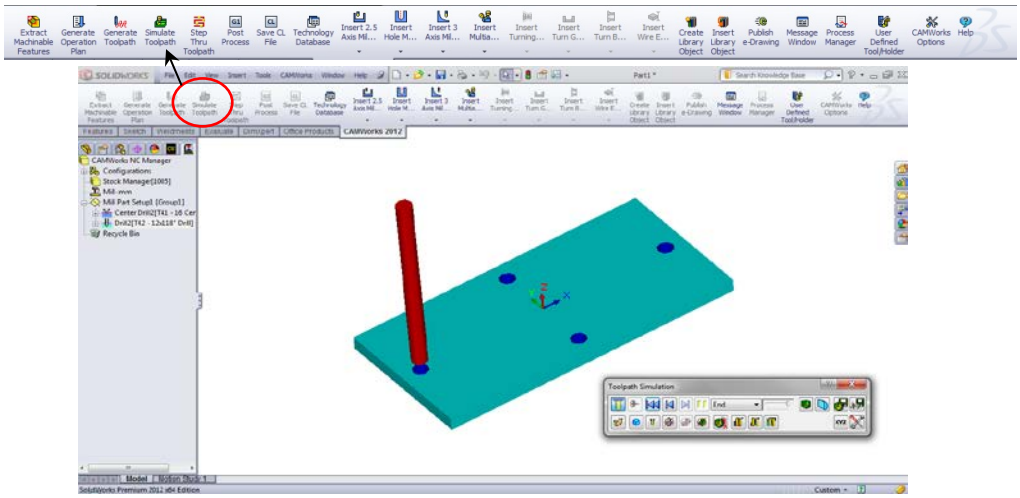


Figura 86: Simulação da maquinagem (autor)

9. Ajustar os parâmetros de maquinagem

Para ajustar os parâmetros de maquinagem de cada uma das ferramentas, pressiona-se com o botão direito do rato, sobre cada uma das ferramentas e surgira a opção **edit defenition**. Clicando sobre ela aparecera uma janela (Figura 87) com várias abas, que permitem modificar os parâmetros de maquinagem e escolher o tipo de ferramenta.

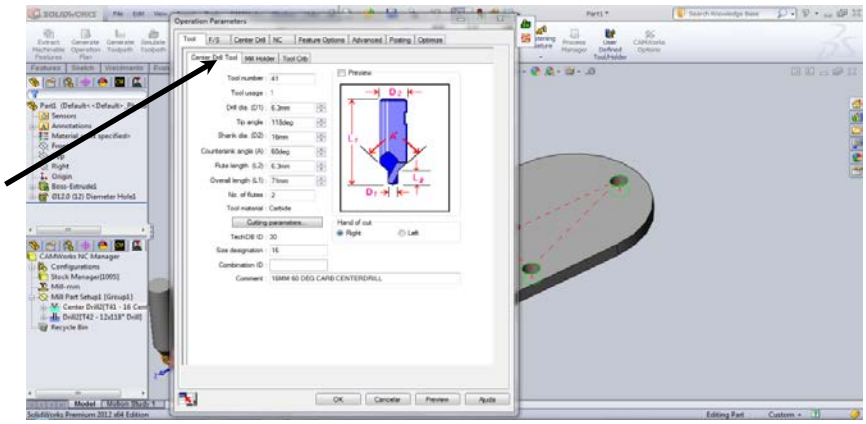


Figura 87: Ajustar os parâmetros de maquinagem (autor)

NOTA: De acordo com as geometrias que foram reconhecidas pelo CAM e com a base de dados das ferramentas seleccionada, os avanços e RPM apresentados correspondem aos presentes na base de dados.

10. Gerar o código NC

Por último, se o ícone G1 for pressionado, será realizado o pós-processamento do arquinho CLDATA (Cutter Location Date File), convertendo os dados das trajectórias das ferramentas em códigos de comando numérico. Aparecerá uma janela (Figura 88) que permite indicar a directoria onde se deseja guardar o arquivo gerado.

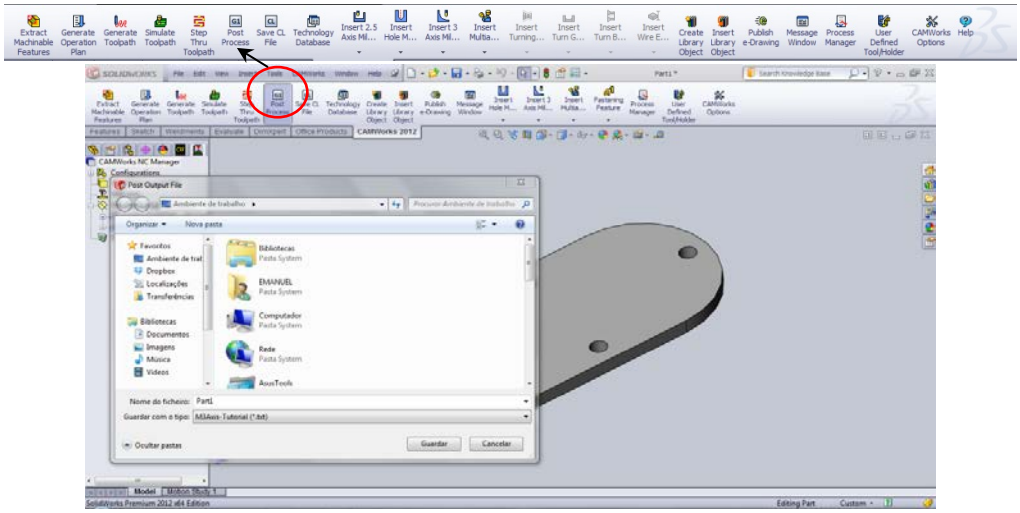


Figura 88: Indicar o nome e a localização do ficheiro NC (autor)

Depois de indicar a directoria e o nome do arquivo, aparece uma janela, com controlos que permitem gerar o programa passo a passo, de forma continua como ilustrado na Figura 89.

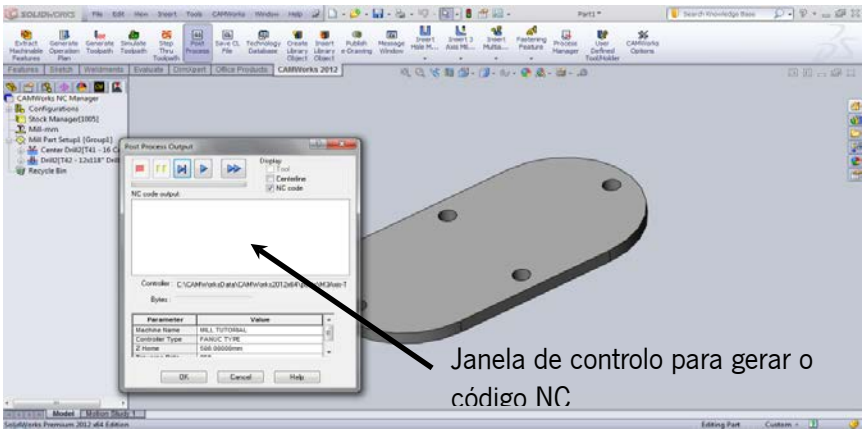


Figura 89: Gerar o programa NC (autor)

Os passos que foram realizados permitiram gerar uma programa NC utilizando o *software CAMWoks.* Neste exercício não foram alterados os parâmetros de maquinagem, pois este foi realizado apenas para demonstrar o procedimento para utilizar o *software*.

Em algumas peças o processo de reconhecimento automático não reconhece todas as geometrias das peças. Nestes casos, deve-se gerar as operações em falta de forma semiautomática (modo **DFI**, definição das características interactivamente) para que o CAM reconheça essas geometrias.

1.3. Procedimentos para gerar os programas peça de forma semiautomática

Como já foi referido, o primeiro passo é abrir o arquivo da peça a trabalhar que foi previamente desenhado em CAD, como o da Figura 90.

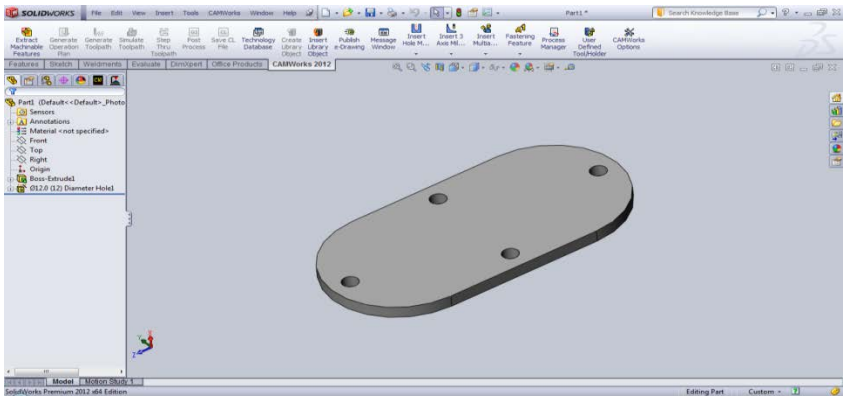


Figura 90: Peça desenhada em CAD (autor)

Antes de iniciar o trabalho é necessário analisar a forma como o aperto vai ser feito, para que este não interfira com o processo de maquinagem, nomeadamente o contorno exterior. Neste caso a utilização de uma prensa não é possível, pois a distância entre os dois contornos é inferior ao comprimento dos mordentes da prensa. Assim sendo, é necessário desenhar e fabricar um dispositivo de aperto.

Este dispositivo pode ser uma barra onde exista uma furação igual à da peça, e esta seja apertada por aí, depois dos furos terem sido feitos, para se proceder ao contorno exterior.

O passo seguinte é especificar o tipo de máquina, definir as dimensões e escolher a base de dados das ferramentas, como descrito no ponto 1.1.2.

Posteriormente, selecciona-se na árvore, com o botão direito do rato o ícone **Stock Manager** e surgirá um menu onde se selecciona a opção **Insert part setup** como se mostra na Figura 91.

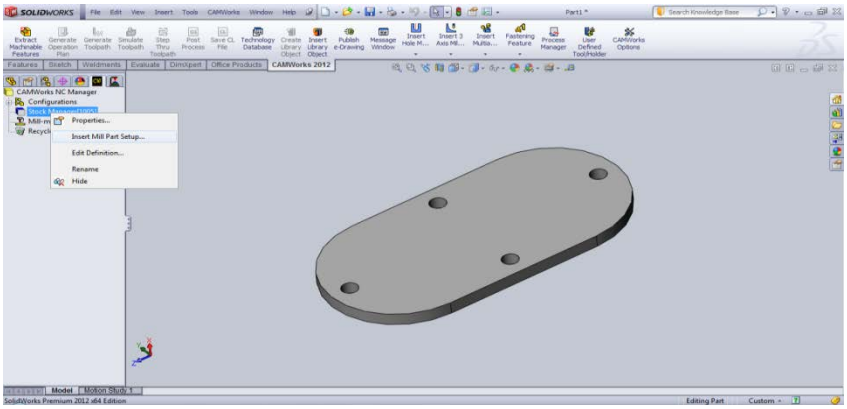


Figura 91: Insert part setup (autor)

Com esta operação, o que se pretende é definir o sistema de coordenadas de trabalho G54 da peça a maquinar. Uma vez seleccionada a opção **Insert part setup**, surge uma janela no qual aparece um sistema de eixos de referência, para se seleccionar o ponto onde se deseja o G54. Após seleccionar o ponto surge, uma seta que indica a direcção do movimento do eixo Z (Figura 92). Atenção que este corresponde ao movimento real da máquina.

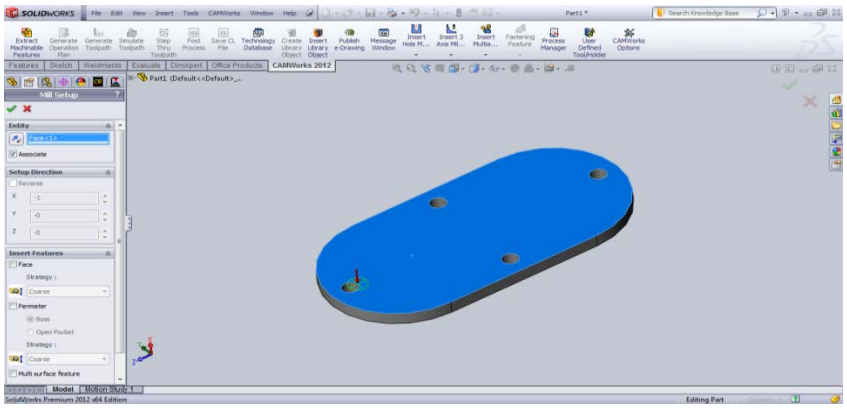


Figura 92: Estabelecer o sistema de coordenadas (autor)

Para poder definir o sistema de coordenadas correto é necessário antes, definir como se vai apertar a peça.

Um dos aspectos fundamentais na maquinagem das peças é uma boa fixação, para evitar vibrações e optimizar a maquinagem, além de permitir bom acabamento nas peças.

Inserir a geometria

Para inserir a geometria que não foi identificada pelo *software* e que se quer gerar, é necessário clicar sobre o ícone **Mill Part Setup**, com o botão direito do rato e surgirá um submenu, onde se selecciona a opção **Insert 2.5 Axis Feature**. Aparecerá uma janela que permitirá escolher a opção de maquinagem, assim como a entidade desejada como ilustrado na Figura 93.

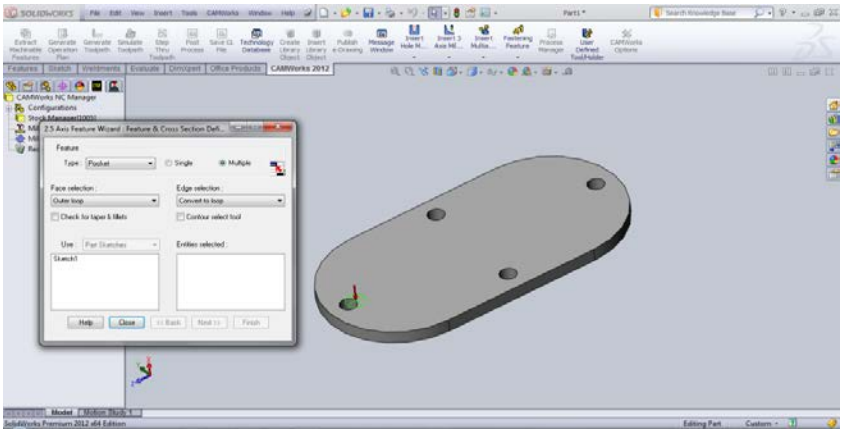


Figura 93: Seleccionar a geometria (autor)

Uma vez feitos estes passos, aparecerá na árvore de características do *CAMWorks*, a operação que foi inserida a magenta. Depois é necessário gerar o **plan** das operações, clicando sobre a opção **Generate Operation Plan**. De uma forma similar, obtém-se o percurso das ferramentas (**Toolpath**), a simulação da maquinagem (**Simulate Toolpath**) e o código NC (**Post Process**).

Ao inserir as geometrias é importante conhecer os tipos de características (Feature) que o *CAMWorks* reconhece e que são mostradas na Figura 94, Figura 95.

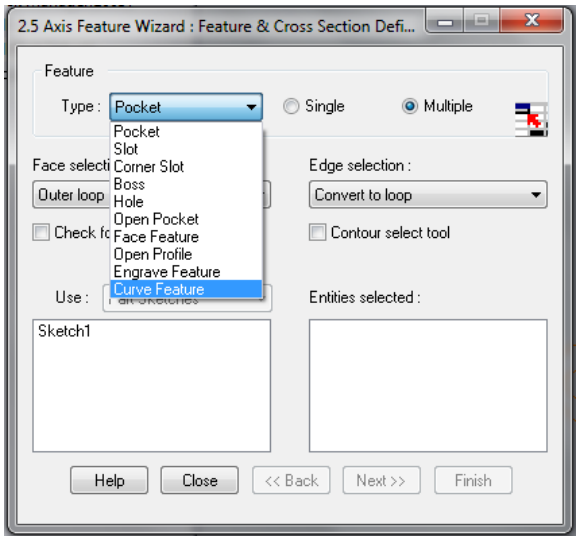


Figura 94: Janela que permite inserir as geometrias (autor)

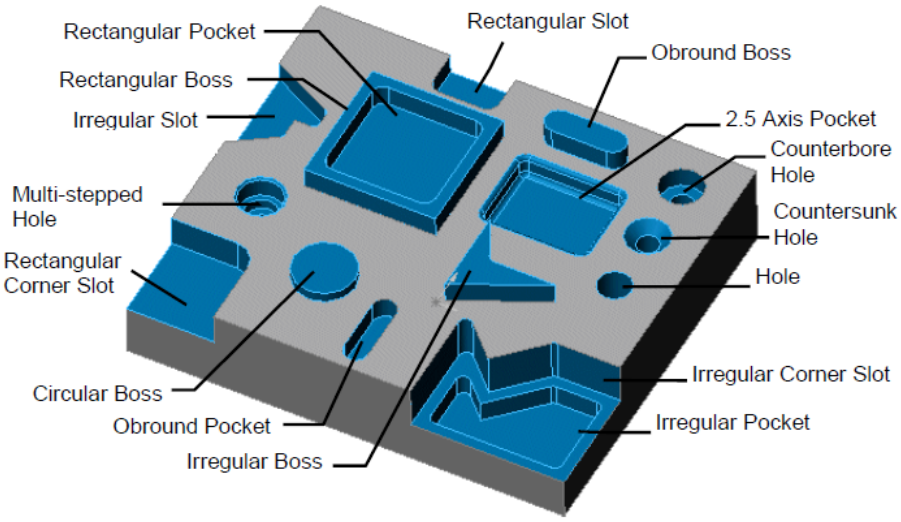


Figura 95: Geometria reconhecidas pelo *CAMWorks*